

ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2020 Том 10 № 3 (39)

- *Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов *Pinus sylvestris* L.*
- *Влияние климатогеографических факторов на адаптационную способность сосны обыкновенной*
- *Проблема выявления и назначения в рубку аварийных деревьев на территории Гослесфонда*



ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Научный журнал
2020 г. Том 10 № 3 (39)

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ)

Председатель редакционной коллегии
д.т.н., проф. М.В. Драпалюк

Главный редактор
д.т.н., проф. И.М. Бартенев

Состав редакционной коллегии
д.б.н., проф. А.А. Сирин (Россия)
д.т.н., проф. Д.Н. Афоничев (Россия)
д.т.н., проф. Л.И. Бельчинская (Россия)
д.ф.-м.н., проф. Н.Н. Матвеев (Россия)
д.б.н., проф. С.М. Матвеев (Россия)
д.б.н., доц. А.А. Гусев (Россия)
д.э.н., проф. С.С. Морковина (Россия)
д-р философии И. Ремеш (Чехия)
д.т.н., проф. А.М. Цыпук (Россия)
д.с.-х.н., проф. А.И. Чернодубов (Россия)
д.т.н., проф. О.Н. Бурмистрова (Россия)
д.т.н., проф. И.В. Григорьев (Россия)
д.с.-х.н., проф. К.Н. Кулик (Россия)
д.с.-х.н., проф. А.С. Манаенков (Россия)
д.с.-х.н., проф. А.А. Мартынюк (Россия)
д.б.н., проф. Рубцов В.В. (Россия)
д.т.н., проф. В.С. Сюнёв (Россия)
д.б.н., проф. Н.Н. Харченко (Россия)
д.т.н., проф. П.А. Бехта (Украина)
проф. Чжоу Динго (Китай)
д.х.н., проф. А. Маркомини (Италия)
к.т.н., проф. В. Подразски (Чехия)
д-р наук, проф. Ф. Ресснер (Германия)
д.т.н., проф. Я. Седлячик (Словакия)
д-р химии Е.А. Чиркова (Латвия)

Ответственный секретарь
к.э.н., доц. С.В. Харин
Редактор
к.ф.н. Е.А. Прыткова
Компьютерная верстка
к.э.н., доц. С.В. Харин

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных тех-
нологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-66384 от 14.07.2016 г.

Материалы настоящего журнала
могут быть воспроизведены только
с письменного разрешения редакцион-
ной коллегии

РИО ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8,
телефон (473) 253-72-90,
факс (473) 253-76-51,
e-mail: lesteh@vglta.vrn.ru

© ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2020

LESOTEKHNICHESKII ZHURNAL

Scientific Journal

2020 Vol. 10 № 3 (39)

Founder – Federal State Budget Educational Institution of High Education
«Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov» (VSUFT)

Editorial Board Head

Dr., prof. M.V. Drapalyuk

Chief Editor

Dr., prof. I.M. Bartenev

Members of editorial board

Dr., prof. A.A. Sirin (Russia)
Dr., prof. D.N. Afonichev (Russia)
Dr., prof. L.I. Belchinskaya (Russia)
Dr., prof. N.N. Matveev (Russia)
Dr., prof. S.M. Matveev (Russia)
Dr., Assoc. Prof. A.A. Gusev (Russia)
Dr., prof. S.S. Morkovina (Russia)
Dr. Philosophy J. Remes (Czech Republic)
Dr., prof. A.M. Tsypuk (Russia)
Dr., prof. A.I. Chernodubov (Russia)
Dr., prof. O.N. Burmistrova (Russia)
Dr., prof. I.V. Grigoriev (Russia)
Dr., prof. K.N. Kulik (Russia)
Dr., prof. A.S. Manaenkov (Russia)
Dr., prof. A.A. Martynyuk (Russia)
Dr., prof. Rubtsov V.V. (Russia)
Dr., prof. V.S. Syunev (Russia)
Dr., prof. N.N. Kharchenko (Russia)
Dr., prof. P.A. Bekhta (Ukraine)
prof. Zhou Dingguo (China)
Dr., prof. A. Marcomini (Italy)
CSc., prof. V. Podrazsky (Czech Republic)
Dr., prof. F. Roessner (Germany)
Ph.D., prof. J. Sedliacik (Slovakia)
Dr. Chemistry J.A. Chirkova (Latvia)

Executive secretary

PhD in Economics S.V. Kharin

Editor

PhD (Philology) E.A. Prytkova

Typesetting

PhD in Economics S.V. Kharin

The journal is registered by
the Federal Service for Supervision
of Communications, Information Tech-
nology and Communications.

Registration certificate

PI № FS77-66384 of 14.07.2016

Materials of this journal may be re-
produced only with written permission of
the editorial board

PS FSBEI HE «VSUFT»

394087, Voronezh, Timiryazeva str, 8,
telephone (473) 253-72-90,
fax (473) 253-76-51,
e-mail: lesteh@vglta.vrn.ru

© FSBEI HE «VSUFT», 2020

СОДЕРЖАНИЕ ЭКОЛОГИЯ

Белик А.В., Горбунова Ю.С., Девятова Т.А., Алаева Л.А. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского Бора...	5
Брындина Л.В., Корчагина А.Ю. Влияние загрязнений сточных вод на биоценоз активного ила.....	16
Казбанова И.М. Роль патологических новообразований и их возбудителей в функционировании природных экосистем лесопарковых зон.....	26

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Галдина Т.Е., Хазова Е.П. Влияние климатогеографических факторов на адаптационную способность сосны обыкновенной.....	35
Грибачева О.В., Чернодубов А.И., Сотников Д.В. Оценка влияния защитной лесополосы на отложение снежного покрова в УНПАК ЛНАУ «Колос».....	43
Попова А.А., Евлаков П.М. Анализ селекционных объектов <i>Q. Quercus</i> г. Воронежа и Воронежской области.....	54
Попов А.В., Рыбалкина Н.В. Применение раундапа в борьбе с нежелательной порослью древесных пород в защитных лесных насаждениях Центрального Черноземья.....	63
Рунова Е.М., Гарус И.А., Мухачева А.Н. Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов <i>Pinus sylvestris</i> L....	72
Царалунга В.В., Царалунга А.В., Короткая А.В. Проблема выявления и назначения в рубку аварийных деревьев на территории гослесфонда.....	86

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Побединский В.В., Булдаков С.И., Берстевнев А.В., Анастас Е.С. Нейро-нечеткая сеть для оценки технологических решений устройства лесных дорог.....	95
Посметьев В.И., Никонов В.О., Посметьев В.В. Результаты многофакторной оптимизации параметров исследуемых энергосберегающих систем, применяемых в лесовозном автомобильном транспорте.....	104

CONTENTS ECOLOGY

Belik A.V., Gorbunova Y.S., Devyatova T.A., Alaeva L.A. Spatial variation of ecological indicators of soddy-forest soils in Usmansky Pine Forest.....	5
Bryndina L.V., Korchagina A.Yu. Influence of wastewater pollution on biocenosis of active sludge.....	16
Kazbanova I.M. Role of pathological new formations and their agents in the functioning of natural ecosystems of forest park zones.....	26

NATURE MANAGEMENT

Galdina T.E., Khazova E.P. Influence of climatic and geographic factors on the scots pine adaptability.....	35
Gribacheva O.V., Chernodubov A.I., Sotnikov D.V. Assessment of the impact of a protective forest belt on snow deposition at UNPAK LNAU "Kolos".....	43
Popova A.A., Evlakov P.M. Analysis of <i>Quercus</i> selection objects in Voronezh and the Voronezh region.....	54
Popov A.V., Rybalkina N.V. Application of roundup (glyphosate) in the fight against unwanted spring of tree species in protective forest plantations of the Central Black Earth.....	63
Runova E.M., Garus I.A., Mukhacheva A.N. Application of instrumental methods in trunks assessment of <i>Pinus Sylvestris</i> L.....	72
Tsaralunga V.V., Tsaralunga A.V., Korotkaya A.V. The problem to identify and assign the logging of emergency trees in the territory of state forest fund.....	86

FORESTRY ENGINEERING

Pobedinsky V.V., Buldakov S.I., Berstenev A.V., Anastas E.S. Neural fuzzy network for assessing technological solutions for forest roads.....	95
Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Posmetyev V.V. Multi-factor optimization of parameters of the researched energy saving systems applied in timber road transport.....	104

**ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКА. ХИМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

- Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Громовик А.И., Куликова Е.В.** Биогеохимия никеля при орошении..... 124
- Сергеев А.Г.** Исследование рабочего процесса сушилки СБ-2 ООО «Доза-Агро» в составе линий производства топливных пеллет..... 134
- Тарбеева Н.А., Рублева О.А.** Обоснование технологических возможностей способа упрочняющей декоративной обработки низкотоварной древесины..... 145

**ТЕХНОЛОГИИ. МАШИНЫ
И ОБОРУДОВАНИЕ**

- Зеликов В.А., Козлов В.Г., Жиляков А.Л., Козлова Е.В., Скрыпников А.А., Горбунов А.А.** Определение силы сопротивления погружению центрального диска высевающей секции и ее техническое решение..... 155
- Платонов А.А., Терновская О.В.** Особенности формирования капитальных вложений для создания систем машин удаления нежелательной растительности..... 164
- Посметьев В.И., Никонов В.О., Зеликов В.А., Посметьев В.В.** Результаты двухфакторной оптимизации параметров перспективной модульной конструкции гидропневматической подвески лесовозного автомобильного транспорта..... 175

**МЕНЕДЖМЕНТ. ЭКОНОМИКА.
ОРГАНИЗАЦИЯ**

- Панявина Е.А., Морковина С.С., Цепляев А.Н.** Экономическая оценка инновационной технологии «Pot-in-Pot» для целей лесовосстановления..... 185

**WOOD-PROCESSING.
ENGINEERING CHEMISTRY**

- Kramareva T.N., Gorbunva N.S., Gromovik A.I., Kulikova E.V.** Nickel biogeochemistry in irrigation..... 124
- Sergeev A.G.** Working process of SB-2 dryer (Doza-Agro LLC) in the composition of fuel pellets production lines..... 134
- Tarbeeveva N.A., Rubleva O.A.** Substantiation of technological possibilities of the method for strengthening decorative processing of low-valuable wood..... 145

**TECHNOLOGIES. MACHINERY
AND EQUIPMENT**

- Zelikov V.A., Kozlov V.G., Zhilyakov A.L., Kozlova E.V., Skrypnikov A.A., Gorbunov A.A.** Determination of immersion resistance of the central disc of seeding section and its technical solution..... 155
- Platonov A.A., O V Ternovskaya O.V.** Features of capital investment formation for creation of machine systems for unwanted vegetation removal..... 164
- Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Zelikov V.A., Posmetyev V.V.** Two-factor parameter optimization of promising modular hydro-pneumatic suspension for logging road transport..... 175

MANAGEMENT. ECONOMICS. ORGANIZATION

- Panyavina E.A., Morkovina S.S., Tseplyaev A. N.** Economic assessment of Pot-in-Pot innovative technology for reforestation..... 185

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ЛЕСНЫХ ПОЧВ УСМАНСКОГО БОРА

кандидат биологических наук **А.В. Белик**

кандидат биологических наук **Ю.С. Горбунова**

доктор биологических наук, профессор **Т.А. Девятова**

кандидат биологических наук **Л.А. Алаева**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация

В современных условиях важной составной частью экологического мониторинга являются наблюдения за экологическим состоянием почвенного покрова, подразумевающие активное применение геоинформационных систем. Существующая пространственная контрастность почвенного покрова и варьирование показателей экологического состояния почв в значительной степени осложняют интерпретацию и внедрение результатов почвенно-экологического мониторинга в природоохранную практику. Традиционные исследования пространственной пестроты почвенных свойств с использованием геоинформационных технологий носят прикладной характер и в первую очередь связаны с внедрением в практику технологий точного земледелия. Применение ГИС-технологий направлено на инвентаризацию и оценку состояния природных ресурсов конкретной территории с учетом особенностей их пространственной динамики. Однако применение геоинформационных систем для исследования пространственного варьирования показателей экологического состояния почв в лесных экосистемах является также весьма актуальным. Данные исследования позволяют не только проследить фактические изменения в экологическом состоянии почвенного покрова леса, но и выявить зависимость последних от уровня антропогенной нагрузки экосистем, а также проводить моделирование и прогноз состояния лесных экосистем. В статье рассмотрены основные закономерности пространственного варьирования физико-химических и химических свойств почв в зависимости от пестроты рельефа. Выявлены разные степени рассеивания показателей физико-химических и химических свойств почв по вычисленному коэффициенту варьирования. Наибольший размах варьирования характерен для мощности подстилки и дёрна, содержания гумуса и обменного калия ($V > 33\%$).

Ключевые слова: почвенный покров, пространственное варьирование, экологическое состояние, дерново-лесные почвы, Усманский бор, геоинформационные системы, физико-химические и химические свойства

SPATIAL VARIATION OF ECOLOGICAL INDICATORS OF SODDY FOREST SOILS IN USMANSKY PINE FOREST

PhD (Biology), **A.V. Belik**

PhD (Biology), **Yu.S. Gorbunova**

DSc (Biology), Professor **T.A. Devyatova**

PhD (Biology) **L.A. Alaeva**

FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation

Abstract

In modern conditions, an important component of environmental monitoring is record of the ecological state of soil cover, implying active use of geographic information systems. The existing spatial contrast of soil cover and variation in the indicators of soil ecological state greatly complicates the interpretation and implementation of the results of soil-ecological monitoring into environmental practice. Traditional studies of spatial diversity considering soil proper-

ties and using geoinformation technology are of applied nature and primarily associated with the introduction of precision farming technologies into practice. GIS technologies are aimed at inventorying and assessing the state of natural resources of a particular territory, taking into account the peculiarities of their spatial dynamics. However, the use of geographic information systems to study the spatial variation of soil ecological indicators in forest ecosystems is also very relevant. These studies allow not only trace the actual changes in the ecological state of the forest soil cover, but also reveal their dependence on the level of anthropogenic load of ecosystems and carry out modeling and forecasting of the forest ecosystems' state. The article discusses the main regularities of the spatial variation of physicochemical and chemical properties of soils depending on the relief variegation. Different dispersion degrees of indicators of physical, chemical and chemical properties of soils, according to the calculated coefficient of variation have been revealed. The greatest range of variation is typical for litter and sod thickness, humus content and exchangeable potassium ($V > 33\%$).

Keywords: soil cover, spatial variation, ecological state, soddy forest soils, Usmansky pine forest, geographic information systems, physicochemical and chemical properties

Введение

В современных условиях важным инструментом мониторинга состояния окружающей среды являются геоинформационные технологии. Пространственное варьирование показателей экологического состояния почв используется множеством иностранных ученых для обоснования внедрения элементов точного земледелия [1, 2, 3]. В наибольшей степени их применение направлено на инвентаризацию и оценку состояния природных ресурсов конкретной территории с учетом особенностей их пространственной динамики. Одним из наиболее актуальных и перспективных направлений применения ГИС и методов геостатистики является изучение пространственного варьирования показателей экологического состояния почв в лесных экосистемах. Данные исследования позволяют не только проследить фактические изменения в экологическом состоянии почвенного покрова леса, но и выявить зависимость последних от уровня антропогенной нагрузки экосистем, а также в дальнейшем моделировать и прогнозировать состояние лесного биогеоценоза в целом [4]. Особенно актуально это для лесов и зеленых насаждений, прилегающих к крупным городам, поскольку их экосистемы испытывают постоянно возрастающее воздействие автотранспорта. Впервые было проведено подробное исследование влияния пестроты рельефа на пространственное варьирование основных физико-химических и химических показателей в пределах Усманского бора Воронежской области.

Цель нашей работы – изучение закономерностей пространственного варьирования основных показателей экологического состояния дерново-лесных почв Усманского бора.

В задачи исследования входили: закладка ключевого участка, отбор почвенных образцов, проведение геостатистического анализа для ключевого участка, анализ пространственного варьирования физико-химических и химических свойств дерново-лесных почв.

Объекты и методы

Исследованы почвы Воронежской области Российской Федерации: дерново-лесные глееватозювиальные супесчаные, расположенные на территории Усманского бора в лесостепной зоне, который является основным лесом в центре Среднерусской возвышенности и граничащим с городом Воронежем (рис. 1, 2) [5, 6]. Полевые исследования проводились в 2016 году [7]. Для проведения исследований на окраине соснового леса был заложен ключевой участок, общей площадью 1 га (100×100 м), стороны которого ориентированы по сторонам света. Ключ располагается к юго-востоку от НОИ-СОК «Веневитиново» на расстоянии 1 км в непосредственной близости от озера Чистое. Ключевой участок был заложен на пологом холме, вытянутом с запада на восток.

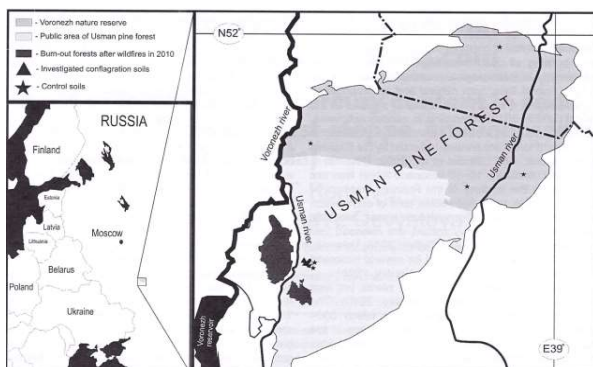


Рис. 1. Географическое положение Усманского бора [6]



Рис. 2. Географическое положение ключевого участка (РФ) [по результатам исследований авторов]

Полевые исследования проводились в 2016 году [7]. Для проведения исследований на окраине соснового леса был заложен ключевой участок общей площадью 1 га (100×100 м), стороны которого ориентированы по сторонам света. Ключ располагается к юго-востоку от НОиСОК «Венежитиново» на расстоянии 1 км в непосредственной близости от озера Чистое. Ключевой участок был заложен на пологом холме, вытянутом с запада на восток. Почвенный покров участка представлен дерново-лесными осветленными почвами с типичным для данного подтипа морфологическим строением профиля, физико-химическими и химическими свойствами (табл. 1, 2) (n.l. 51°48'471" e.l. 39° 23'918") (GPS Navigator Garmin Oregon 750 2017 Taiwan China). Для отбора проб почвы в пределах ключевого участка была наложена регулярная сеть опробования с шагом 20 м. Отбор образцов осуществлялся на глубину 0-30 см по узлам сети,

лабораторные исследования включали определение основных диагностических параметров плодородия по общепринятым стандартным методикам [7-11].

Почвенные образцы в разрезах отбирались послойно, согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02-84. Во всех пробах были определены основные показатели экологического состояния почв по общепринятым методикам: валовой гумус по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова [11]; азот легкогидролизуемых соединений в щелочной вытяжке по А.Х. Корнфилду [11]; подвижный фосфор по Ф.В. Чирикову фотокolorиметрическим методом; обменный калий в некарбонатных почвах по Ф.В. Чирикову с пламеннофотометрическим окончанием, согласно требованиям ГОСТ 17.4.4.02-84 [11]. Полученные данные статистически обрабатывали с использованием программ Vox Plot и Microsoft Excel. Полученные результаты анализа подвергались геостатистической обработке в программном пакете Surfer 13 [7-11].

Результаты и их обсуждение

Традиционно исследование пространственной пестроты параметров экологического состояния почв используется в агроэкологических исследованиях и при разработке систем точного земледелия, подразумевающих дифференцированное к условиям отдельных полей и их участков применение агротехнологий [12-15]. Все эти исследования подразумевают активное использование геоинформационных технологий, методов геостатистики и дистанционного зондирования.

С момента появления учения о структуре почвенного покрова предпринимались попытки проводить исследования пространственной изменчивости почв в лесных биогеоценозах. Так, Н.А. Взнуздаев, исследуя пространственную пестроту влажности лесных дерново-подзолистых почв, показал, что на пространственное варьирование этого параметра влияла удаленность точек отбора от стволов деревьев, тип и одно-родность травянистого растительного покрова [16]. Л.О. Карпачевским и Н.К. Киселевой отмечалось влияние факторов растительного покрова на изменчивость почвенных свойств, как в условиях лесных биоценозов, так и в степных растительных ассоциациях, наряду с влиянием других факторов. Подобная пестрота оп-

ределяется неравномерным распределением разлагающихся растительных остатков и минеральных компонентов разного состава, зависимостью от микроклиматических условий [17-18].

Для характеристики свойств почв необходимо использовать среднестатистические значения, но тогда достоверность уменьшится. Для наиболее наглядного представления о химическом составе дерново-лесной почвы ключевого участка нами использованы геостатистические методы исследования, составлены картосхемы (рис. 3-11).

Верхний 0-30 см слой дерново-лесной почвы на ключевом участке характеризуется средними и пониженными значениями физико-химических и химических свойств. Актуальная кислотность почв ключа изменяется в диапазоне 5,1-6,2 ммоль(экв) / 100 г почвы. Сумма обменных оснований в почвах ключевого участка не превышает 8,8 ммоль(экв) / 100 г почвы (размах варьирования 6,1-8,8 ммоль(экв) / 100 г почвы) с преобладанием кальция (5,9-7,2 ммоль(экв) / 100 г почвы), гидролитическая кислотность изменяется в интервале 2,2-3,9 ммоль(экв) / 100 г почвы. При этом почвы участка характеризуются средней и повышенной степенью насыщенности обменными основаниями

(66,1-78,2 %). Коэффициенты вариации по каждому показателю не превышают 20,0 %, что свидетельствует о слабой и средней изменчивости физико-химических свойств, максимальная изменчивость характерна для гидролитической кислотности (19,9 %).

В качестве основного фактора варьирования физико-химических свойств почв на ключевом участке выступают особенности организации рельефа. Так, максимальные значения актуальной кислотности наблюдаются на вершине холма (6,1 ммоль(экв) / 100 г почвы и выше), на склоне холма южной экспозиции (от 5,9 ммоль(экв) / 100 г почвы). В фоновых дерново-лесных почвах гидролитической кислотности $5,5 \pm 0,74$ ммоль(экв) / 100 г почвы. Аналогичные тенденции характерны и для содержания суммы обменных оснований $7,1 \pm 0,56$ ммоль(экв) / 100 г почвы в фоновой почве (табл. 1). Для показателей, характеризующих гидролитическую кислотность и степень насыщенности почв основаниями, пространственное варьирование определяется в первую очередь мощностью и особенностями химического состава подстилки и дернового горизонта.

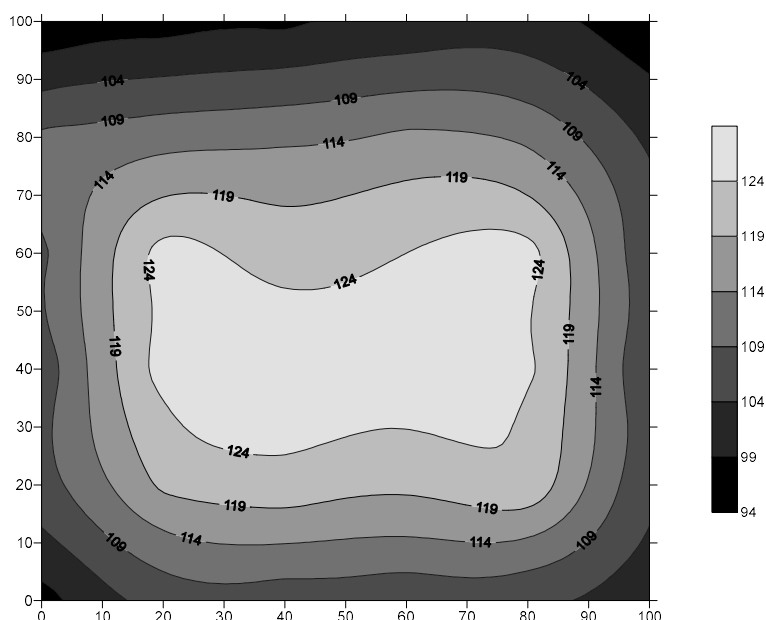


Рис. 3. Организация рельефа ключевого участка [по результатам исследований авторов]

Максимальные значения этих параметров наблюдаются на западном склоне, где в наибольшей степени развита травянистая растительность,

влияющая на мощность дернового горизонта, и мощность хвойной подстилки в среднем составляет 1 см.

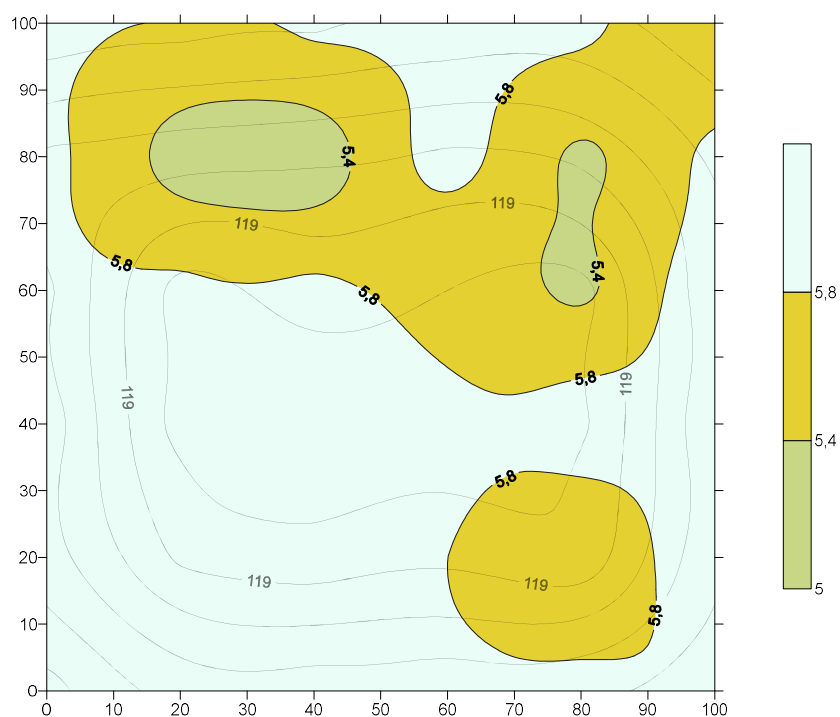


Рис. 4. Варьирование фактической кислотности в дерново-лесных почвах ключевого участка [по результатам исследований авторов]

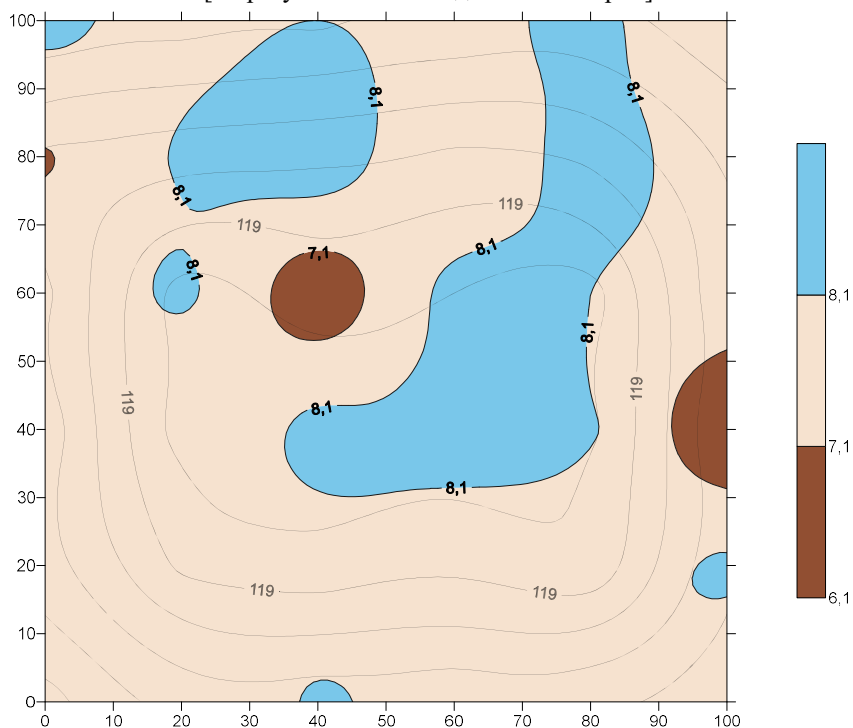


Рис. 5. Варьирование содержания суммы обменных оснований в дерново-лесных почвах ключа [по результатам исследований авторов]

Таблица 1

Статистические показатели физико-химических свойств в эталонных почвах ключа
[по результатам исследований авторов]

Глубина, см	n	рН _{H2O}	H ⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺
			ммоль (экв) / 100 г почвы	
			$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	
0-30	3 ¹	4.73 ² ±0.51	5.51±0.74 ³	7.08±0.56

Примечание: n¹ – количество образцов; x² – среднее арифметическое; $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ ³ – среднее арифметическое с ошибкой среднего арифметического.

Таблица 2

Статистические показатели химических свойств в эталонных почвах ключа
[по результатам исследований авторов]

Глубина, см	n	Гумус, %	N _{щел.гидр.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг/100 г почвы		
			$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$		
0-30	3	3.18±0.58	6.24±0.76	5.53±0.75	5.62±0.71

Содержание гумуса в исследуемых дерново-лесных почвах составляет 0,4-3,2 %. Высокая степень неоднородности показателя подтверждается высоким значением коэффициента вариации (40,0 %). При этом на участке присутствуют ареалы с очень низким, низким и средним содержанием органического вещества по классификации, предложенной Л.А. Алаевой и Л.А. Яблонских [19]. Содержание гумуса в 0-30 см слое фоновых почвах составляет 3,18±0,58 (табл. 2).

Основным фактором варьирования содержания гумуса в верхнем слое дерново-лесных почв на ключевом участке является рельеф (рис. 6). Контур с повышенным содержанием гумуса приурочен к вершине холма, образовавшегося на террасном участке реки Усмань.

Отдельные небольшие пятна с повышенным содержанием наблюдаются на склоне восточной экспозиции с хорошо выраженным дерновым горизонтом и минимальным количеством лесной подстилки, представленной главным образом хвоей сосны обыкновенной. Контур с минимальным содержанием в основном сконцентрированы в пограничных областях исследуемого участка.

По содержанию доступных форм элементов питания почвы объекта исследования также отличаются высоким уровнем пространственной пест-

роты. Она закономерно возрастает в ряду калий – азот – фосфор: разница между максимальным и минимальными показателями варьировалась от 1,7 до 5,5 раз.

Содержание щелочногидролизуемого азота почвы участка изменяется в диапазоне 5,2-9,2 мг / 100 г почвы при коэффициенте вариации, равном 15,0 %. Содержание подвижного фосфора в гумусовом горизонте изучаемой почвы находится в диапазоне 4,9-8,2 мг / 100 г почвы при коэффициенте вариации, равном 13,6 %.

Содержание обменного калия варьируется в интервале 2,5-13,8 мг / 100 г. Нельзя не отметить большой разброс в показателях K₂O: разрыв между некоторыми образцами достигает 10 мг / 100 г почвы при коэффициенте варьирования, равном 40,5 %, что свидетельствует о высоком уровне неоднородности данного показателя (рис. 7). В качестве факторов, лимитирующих пестроту содержания доступных форм элементов питания, следует выделить: особенности микро- и мезорельефа, плотность травянистой растительности и мощность подстилки. Как правило, участки с максимальным содержанием подвижных форм элементов питания приурочены к вершине холма, а также участкам склона с максимальной мощностью дернового горизонта и минимальной мощностью подстилки.

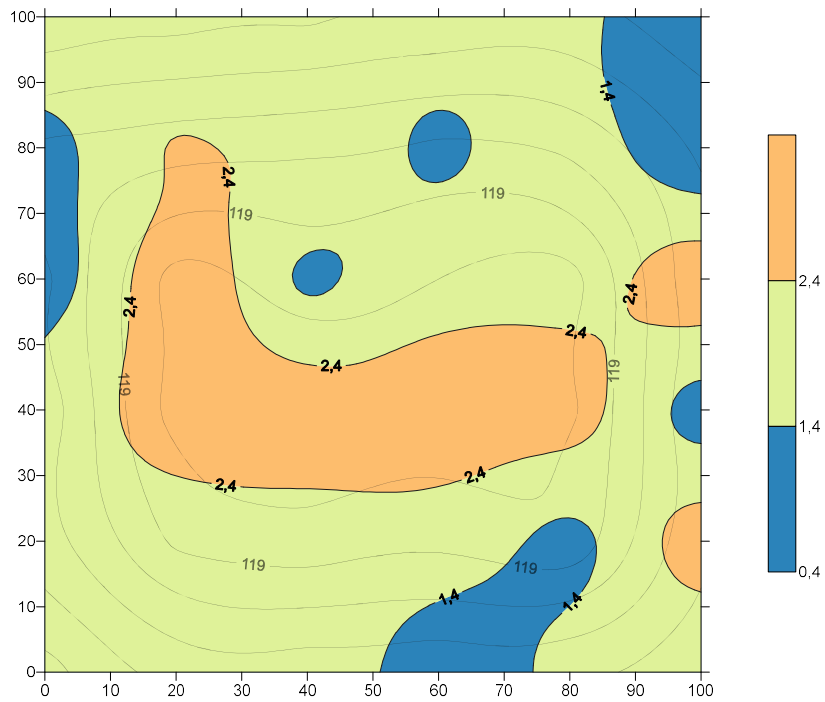


Рис. 6. Пространственная пестрота содержания гумуса в дерново-лесных почвах ключевого участка [по результатам исследований авторов]

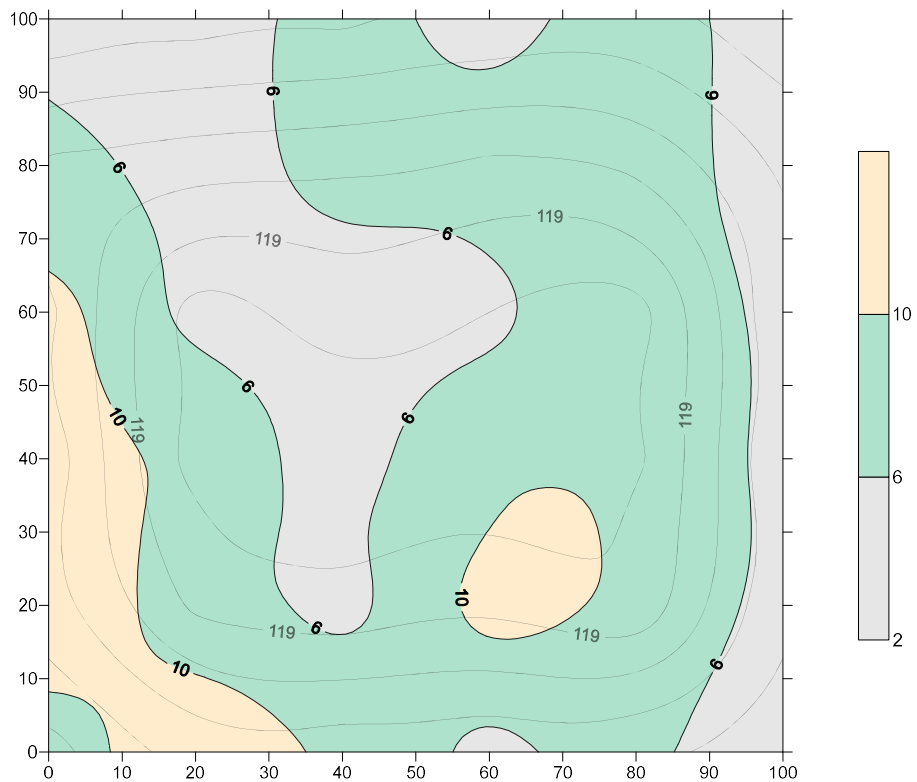


Рис. 7. Пространственная изменчивость содержания обменного калия в почвах ключевого участка [по результатам исследований авторов]

Участки с минимальным содержанием элементов питания совпадали с участками склона, на которых сформировалась наиболее мощная подстилка из хвои, обедненная азотом, фосфором и калием, и с наименьшей плотностью травянистой растительности, которая выступает в качестве основного источника биогенных элементов и органического вещества.

Выводы

На исследованном ключевом участке, расположенном на территории Усманского бора, отмечается достаточно высокий уровень пространственного варьирования показателей экологического состояния дерново-лесных почв, даже при достаточно однородном почвенном покрове. В качестве факторов, определяющих пестроту пространственного

варьирования, выступают: формы мезорельефа (склоновые ландшафты), микрорельеф (наличие микропонижений), состав и плотность различных видов растений, микроклимат. Практически все экологические свойства почв на ключевом участке в своих показателях охватывают 2, а то и 3 уровня градаций.

В большинстве исследованных экологических условий почвообразовательного процесса выявлены закономерные взаимозависимости от рельефа ключевого участка. Но данная зависимость не является прямой, поскольку рельеф влияет на растительность, микроклимат, водный баланс, определяющие величину пространственного варьирования изучаемых физико-химических и химических свойств дерново-лесных почв.

Библиографический список

1. Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn / P. C. Scharf, N. R. Kitchen, K. A. Sudduth [et al.] // *Agronomy Journal*. – 2005. – Vol. 97. – No 2. – P. 452–461. – DOI 10.2134/agronj2005.0452.
2. Remote sensing the spatial distribution of crop residues / C. S. T. Daughtry, E.R. Hunt Jr.; P.C. Doraiswamy, J. E. McMurtrey III // *Agronomy Journal*. – 2005. – Vol. 97. – P. 864–871. – DOI 10.2134/agronj2003.0291.
3. Морев, Д. В. Агроэкологическая оценка земель в условиях зонального ряда агроландшафтов с повышенной пестротой почвенного покрова: специальность 03.02.08 «Экология (биология)»: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Морев Дмитрий Владимирович; РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва, 2017. – 25 с.
4. Белик, А. В. Пространственное варьирование показателей экологического состояния дерново-лесных почв ближнего Подворонежья / А. В. Белик, Г. А. Зорин // *Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: сб. ст. междунар. науч.-практ. конференции (Воронеж, 6-7 сентября 2017 г.)*. – Москва: ООО «Актуальность.РФ», 2017. – С. 10–12.
5. Deviatova, T. A. Basic property analysis of sod-forest soil covered by a forest fire in the territory of Usmansky pinery (RF) / T. A. Deviatova, Yu. S. Gorbunova, I. V. Rumyantseva // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2019. – Vol. 392. – P. 012048. – DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012048.
6. Effect of forest fire on mercury content in soddy podburs of typical forest-steppe environments (Voronezh region, Russia) / Yu. G. Udodenko, V. T. Komov, Ju. S. Gorbunova, T. A. Devyatova // *Ecosystem transformation*. – 2019. – Vol. 2. – P. 75–85. – DOI: 10.23859/estr-180413.
7. ISO 18400-206:2018 Soil quality – Sampling – Part 206: Collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory: international standard; publication date 11.2018. – 18 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
8. ISO 10390:2005 Soil quality – Determination of pH: international standard; publication date 02.2005. – 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
9. ISO 10694:1995 Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis): international standard; publication date 03.2005. – 7 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
10. ISO 11260:2018 Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution: international standard; publication date 05.2018. – 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).

11. Жаппарова, А. А. Агрохимические методы анализа почв, растений и удобрений : учеб. пособие / А. А. Жаппарова ; М-во науки и образования Республики Казахстан, Казахский национальный аграрный университет. – Алматы, 2012. – 98 с.
12. Matejkova, S. Evaluation of crop yield under different nitrogen doses of mineral fertilization / S. Matejkova, J. Kumhalova, J. Lipavsky // *Plant soil environ.* – 2010. – Vol. 56 (4). – P. 163–167. – DOI: 10.17221/196/2009-PSE.
13. Мелиховская, П. В. Изучение пространственной изменчивости свойств почв геостатистическими методами : специальность 03.02.13 «Почвоведение» : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Мелиховская Полина Владимировна ; МГУ. – Москва, 2011. – 22 с.
14. Экология и география почв : сб. тр. / под ред. П. В. Красильникова. – Петрозаводск : Институт биологии Карельского научного центра РАН, 2009. – 215 с. – ISBN 978-5-9274-0395-0:300.
15. Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Nesho Mountainous Rangelands / H. Kavianpoor, A. E. Ouri, Z. J. Jeloudar, A. Kavia // *American Journal of Environmental Engineering.* – 2012. – Vol. 2 (1). – P. 34–44. – DOI:10.5923/j.ajee.20120201.06.
16. Взнуздаев, Н. А. Пространственная изменчивость почвенной влажности и ее связь со структурой лесного биогеоценоза / Н. А. Взнуздаев // *Почвенные комбинации и их генезис.* – Москва : Наука, 1972. – С. 123–170.
17. Карпачевский, Л. О. Изменчивость свойств почвы в зависимости от структуры биогеоценоза / Л. О. Карпачевский // *Почвенные комбинации и их генезис.* – Москва : Наука, 1972. – С. 138–149.
18. Киселева, Н. К. Варьирование содержания обменных кальция, магния и алюминия в дерново-подзолистых почвах широколиственных лесов / Н. К. Киселева // *Почвенные комбинации и их генезис.* – Москва : Наука, 1972. – С. 130–138.

References

1. Scharf P.C., Kitchen N.R., Sudduth K.A. (et al.) (2005) Field-Scale Variability in Optimal Nitrogen Fertilizer Rate for Corn. *Agronomy Journal*, Vol. 97, No 2, pp. 452-461. DOI 10.2134/agronj2005.0452.
2. Daughtry C.S.T., Hunt Jr. E.R., Doraiswamy P.C., McMurtrey III J.E. (2005) Remote sensing the spatial distribution of crop residues. *Agronomy Journal*, Vol. 97, pp. 864-871. DOI 10.2134/agronj2003.0291.
3. Morev D.V. *Agroekologicheskaya otsenka zemel' v usloviyakh zonal'nogo ryada agrolandshaftov s povyshennoj pestrotoj pochvennogo pokrova: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Agroecological assessment of land in the zonal range of agrolandscapes with increased variegation of soil cover: PhD (Biology) thesis abstr.]. Moscow, 2017. 25 p. (in Russian).
4. Belik A.V. *Prostranstvennoe var'irovanie pokazatelej ehkologicheskogo sostoyaniya dernovo-lesnykh pochv blizhnego Podvonezh'ya* [Spatial variation of indicators of the ecological state of sod-forest soils under Voronezh]. *Zelenaya infrastruktura gorodskoj sredy: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (Voronezh 6-7 sentyabrya 2017 goda)* [Green infrastructure of the urban environment: current status and development prospects: proceedings of the international scientific and practical conference (Voronezh September 6-7, 2017)]. Moscow: Actuality.Russia Ltd, 2017, pp. 10-12 (in Russian).
5. Deviatova T.A., Gorbunova Yu.S., Rumyantseva I.V. (2019) Basic property analysis of sod-forest soil covered by a forest fire in the territory of Usmansky pinery (RF) *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2019. Vol. 392, p. 012048. DOI: 10.1088/1755-1315/392/1/012048.
6. Udodenko Yu.G., Komov V.T., Gorbunova Ju.S., Devyatova T.A. (2019) Effect of forest fire on mercury content in soddy podburs of typical forest-steppe environments (Voronezh region, Russia). *Ecosystem transformation*, Vol. 2, pp. 75-85. DOI: 10.23859/estr-180413.
7. ISO 18400-206:2018 Soil quality – Sampling – Part 206: Collection, handling and storage of soil under aerobic conditions for the assessment of microbiological processes, biomass and diversity in the laboratory: international standard, publication date – 11.2018, 18 p. (ISO, Geneva, Switzerland).

8. ISO 10390:2005 Soil quality – Determination of pH: international standard, publication date – 02.2005, 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
9. ISO 10694:1995 Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis): international standard, publication date – 03.2005, 7 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
10. ISO 11260:2018 Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution): international standard, publication date – 05.2018, 12 p. (ISO, Geneva, Switzerland).
11. Zhapparova A.A. *Agrokhimicheskie metody analiza pochv, rastenij i udobrenij: ucheb. posobie* [Agrochemical methods for the analysis of soils, plants and fertilizers: textbook]. Ministry of science and education of the Republic of Kazakhstan, Kazakh National Agrarian University, Almaty, 2012, 98 p. (in Russian).
12. Matejkova S., Kumhalova J., Lipavsky J. (2010) Evaluation of crop yield under different nitrogen doses of mineral fertilization. *Plant soil environ.*, Vol. 56 (4), pp. 163-167. DOI: 10.17221/196/2009-PSE.
13. Melikhovskaya P.V. *Izuchenie prostranstvennoj izmenchivosti svojstv pochv geostatisticheskimi metodami: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [The study of spatial variability of soil properties by geostatistical methods: PhD (Biology) thesis abstr.]. Moscow, 2011, 22 p. (in Russian).
14. *Ekologiya i geografiya pochv: sbornik trudov* [Ecology and geography of soils: proceedings] / ed. by P.V. Krasilnikov; Petrozavodsk: Institute of Biology, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 2009, 218 p. ISBN 978-5-9274-0395-0:300 (in Russian).
15. Kavianpoor H., Ouri A.E., Jeloudar Z.J., Kavia A. (2012) Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Nesho Mountainous Rangelands. *American Journal of Environmental Engineering*, Vol. 2 (1), pp. 34-44. DOI:10.5923/j.ajee.20120201.06.
16. Vznuzdaev N.A. *Prostranstvennaya izmenchivost' pochvennoj vlazhnosti i ee svyaz' so strukturoj lesnogo biogeotsenoza* [Spatial variability of soil moisture and its relationship with the structure of forest biogeocenosis]. *Pochvennye kombinatsii i ikh genezis* [Soil combinations and their genesis]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 123-170 (in Russian).
17. Karpachevsky L.O. *Izmenchivost' svojstv pochvy v zavisimosti ot struktury biogeotsenoza* [Variability of soil properties depending on the structure of biogeocenosis]. *Pochvennye kombinatsii i ikh genezis* [Soil combinations and their genesis]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 138-149 (in Russian).
18. Kiseleva N.K. *Var'irovanie sodержaniya obmennykh kal'tsiya, magniya i alyuminiya v derno-podzolistykh pochvakh shirokolistvennykh lesov* [Variation of the content of exchangeable calcium, magnesium and aluminum in sod-podzolic soils of deciduous forests]. *Pochvennye kombinatsii i ikh genezis* [Soil combinations and their genesis]. Moscow: Nauka, 1972, pp. 130-138 (in Russian).

Сведения об авторах

Белик Антон Викторович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: belik@bio.vsu.ru.

Горбунова Юлия Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: gorbunova@bio.vsu.ru.

Девятова Татьяна Анатольевна – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: devyatova@bio.vsu.ru.

Алаева Лилия Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: liliya-250477@yandex.ru.

Information about authors

Belik Anton Viktorovich – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: belik@bio.vsu.ru.

Gorbunova Yulia Sergeevna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: gorbunova@bio.vsu.ru.

Devyatova Tatyana Anatolyevna – DSc (Biology), Professor, Head of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: devyatova@bio.vsu.ru.

Alaeva Liliya Aleksandrovna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Land Resources, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: liliya-250477@yandex.ru.

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД НА БИОЦЕНОЗ АКТИВНОГО ИЛА

доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Л.В. Брындина**

аспирант **А.Ю. Корчагина**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,

г. Воронеж, Российская Федерация

Сточные воды агропромышленных комплексов богаты органическими компонентами. Наиболее универсальной считается их биологическая очистка. Она обеспечивает высокую скорость протекания процессов биодеструкции загрязнений. Но из-за высокой концентрации поступающих загрязнений микробиом активного ила может снизить свою очищающую способность. Для эффективного разложения таких соединений необходима высокая скорость аэрации, так как в составе активного ила преобладают аэробные микроорганизмы. Часто в реальных условиях времени на окисление этих веществ микробными сообществами недостаточно. Этот дисбаланс между поступающими органическими веществами и окисленными микробиотой активного ила приводит к росту нитчатых бактерий, являющихся одной из причин вспухания активного ила. Для устранения этого негативного фактора было исследовано влияние высоких концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на консорциум микроорганизмов активного ила. Анализ физико-химического состава сточных вод проводили по стандартным методикам. Состав бактериоценоза активного ила, микробиома кишечника свиней определяли стандартными методами посева в жидкие и плотные питательные среды. Установлена корреляционная зависимость между снижением концентрации загрязняющих веществ и регенерацией биоценоза активного ила. Снижение общего уровня загрязнения исходных стоков по ХПК на 59,8 % привело к увеличению численности флокулирующих микроорганизмов на 41,7 %. Благодаря активизации гетеротрофных микроорганизмов наблюдалась глубокая деструкция аминного азота (99 %) и фосфора (71,4 %).

Ключевые слова: активный ил, биоценоз, консорциум микроорганизмов, очистка сточных вод

INFLUENCE OF WASTEWATER POLLUTION ON BIOCENOSIS OF ACTIVE SLUDGE

DSc (Agriculture), Professor **L.V. Bryndina**

Post-graduate student **A.Yu. Korchagina**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",

Voronezh, Russian Federation

Abstract

Wastewater from agro-industrial complexes is rich in organic components. Biological method is considered to be the most universal for their purification. It provides a high rate of biodegradation of pollution. But due to the high concentration of incoming pollutants, activated sludge microbiome can reduce its cleaning ability. High aeration rate is required for the effective decomposition of such compounds, since aerobic microorganisms predominate in the activated sludge. Under real conditions, the time for the oxidation of these substances by microbial communities is often insufficient. This imbalance between incoming organic matter and oxidized activated sludge microbiota leads to the growth of filamentous bacteria, which is one of the reasons of activated sludge swelling. The influence of high concentrations of pollutants in wastewater on a consortium of microorganisms of activated sludge was investigated to eliminate this negative factor. Physical and chemical composition of the wastewater was carried out according to standard methods. The composition of the activated sludge bacteriocenosis and pig intestine microbiome were determined by standard

methods of inoculation in liquid and solid nutrient media. A correlation between the decrease in the concentration of pollutants and regeneration of activated sludge biocenosis has been established. A 59.8% decrease in the overall level of COD contamination of source effluents led to an increase in the number of flocculating microorganisms by 41.7 %. Deep destruction of amine nitrogen (99 %) and phosphorus (71.4 %) was observed due to the activation of heterotrophic microorganisms.

Keywords: activated sludge, biocenosis, consortium of microorganisms, wastewater treatment

Введение

Активный ил – это хлопья коричнево-бурого цвета, состоящие в основном из бактериальных клеток, на поверхности которых и между которыми находятся разнообразные простейшие организмы.

Источником питания и энергии для жизнедеятельности организмов активного ила служат органические загрязняющие вещества, поступающие со сточной водой. Микроорганизмы активного ила с помощью выделяемых ими ферментов окисляют, расщепляют эти загрязнения в присутствии кислорода до простых неорганических соединений. Часть органических веществ идет на построение новых клеток микроорганизмов, другая часть используется в процессах жизнедеятельности.

Видовой состав активного ила зависит от вида загрязнений, поступающих на очистку [19, 21]. Увеличение объема загрязняющих веществ в сточной воде может привести к росту нагрузки на микроорганизмы активного ила. Это снижает количество флокулирующих бактерий и повышает долю нитчатых микроорганизмов [14, 15]. Такое изменение консорциума микроорганизмов активного ила приводит к его вспуханию. При вспухании меняется структура хлопьев активного ила, ухудшается качество очистки [5, 8]. Вопрос вспухания активного ила остается по-прежнему актуальным для всех биологических способов очистки с использованием аэробных микроорганизмов. Кроме этого, возникает и проблема экологического характера – загрязнение природных водоемов.

Ряд исследователей [18, 24, 26] выделяют несколько причин нитчатого вспухания ила:

– при низкой концентрации загрязняющих примесей нитчатые бактерии растут быстрее флокулирующих;

– нитчатые бактерии в большинстве случаев не способны к полной денитрификации и при недостатке кислорода будут преобладать над флокулирующими [17];

– константа насыщения субстратом зависит от размеров (радиуса колоний микроорганизмов), и у нитчатых микроорганизмов она ниже, что замедляет скорость их роста и увеличивает их конкурентоспособность в сравнении с флокулирующими;

– у нитчатых бактерий отношение площади поверхности к объему выше, что влияет на диффузионные процессы.

Но экспериментальные исследования в этой области противоречивы [22, 23].

Так, А.И. Щетинин с соавторами [16] установили, что, несмотря на высокое содержание нитчатых бактерий, активный ил обладал способностью к нитрификации и денитрификации. Метаболическая селекция не играла существенной роли в подавлении развития нитчатых бактерий.

Meng Zhang [28] определил влияние на вспухание ила видового состава нитчатых микроорганизмов. Так, *Microthrix* размножался при низком иловом индексе и низкой температуре. Данный вид микроорганизма доминирует в активном иле. Это отмечается многими исследователями [20, 25, 27]. *Flavobacterium* проявляет активность при низком соотношении углерода к азоту, *Thiothrix* растет при высокой концентрации в химической потребности в кислороде (ХПК). Все это свидетельствует о том, что на развитие нитевидных бактерий влияет широкий спектр факторов и выделить общий критерий, снижающий их рост, не представляется возможным. Однако отмечается, что высокая концентрация поступающих веществ является одной из основных причин роста нитчатых бактерий [6, 7, 9].

Снижение концентрации поступающих загрязнений в сточные воды позволит регулировать этот дисбаланс. А учитывая постоянное ужесточение требований к сбрасываемым стокам в городскую канализацию, рост тарифов за очистку, внедрение ресурсосберегающей технологии, снижающей исходную концентрацию загрязняющих ве-

ществ стока, позволит активировать сапрофитную микрофлору биоценоза активного ила. Это будет способствовать улучшению качества очистки сточных вод и минимизации нагрузки на водные экосистемы.

Общеизвестно, что содержимое желудочно-кишечного тракта убойных животных смывается в канализацию вместе с другими стоками.

В связи с вышеизложенным, целью нашего исследования было снизить концентрацию загрязняющих веществ, поступающих на очистку, за счет ферментации микробиомом кишечника убойных животных малоценного и непищевого сырья. Это создаст благоприятные условия для жизнедеятельности сапрофитной микрофлоры активного ила, повысит ее ферментативную активность за счет уменьшения концентрации загрязняющих веществ, поступающих на очистку, и сделает возможным антагонистически вытеснить нитчатые бактерии.

Материалы и методы

Объектами исследования были сточные воды и активный ил предприятий АПК г. Воронежа, микробиом кишечника свиней (ООО «Бобровский мясокомбинат»).

Физико-химические исследования активного ила проводили по стандартным методам. Химический показатель кислорода (ХПК) определяли по ГОСТ 31859-2012 [1]. Метод основан на измерении оптической плотности раствора при длине волны 600 нм с использованием градуировочной зависимости оптической плотности раствора от значения ХПК.

Аминный азот определяли по ГОСТ 33045-2014 [2]. Метод основан на способности аммиака и ионов аммония взаимодействовать с реактивом Несслера с образованием окрашенного в желто-коричневый цвет соединения с последующим фотометрическим определением (400-425 нм) и расчетом массовой концентрации определяемых компонентов в пробе исследуемой воды.

Нитриты определяли по ГОСТ 33045-2014 [2]. Сущность метода заключается во взаимодействии нитритов в исследуемой пробе воды с сульфаниловой кислотой в присутствии 1-нафтил-аминна с образованием красно-фиолетового окрашенного соединения с последующим фотометриче-

ским определением (520 нм) и расчетом массовой концентрации нитритов в пробе исследуемой воды. Нитраты определяли по ГОСТ 33045-2014 [2]. Определение основано на реакции нитратов с салицилатом натрия в концентрированной трихлоруксусной кислоте с последующим добавлением раствора гидроксида натрия и образованием натриевой соли нитросалициловой кислоты, окрашенной в желтый цвет (λ_{\max} 410 нм). Фосфаты определяли по ГОСТ 18309-2014 [3]. Сущность метода состоит в переводе в ортофосфат большинства соединений органически связанного фосфора путем персульфатного окисления.

Определение нитчатых микроорганизмов проводили по методике, указанной в ПНД Ф СБ14.1.92-96 «Методическое руководство по гидробиологическому контролю нитчатых микроорганизмов активного ила» [10].

Для проведения гидробиологического анализа активного ила готовили препараты методом раздавленной капли, а также фиксированные окрашенные препараты. Состав бактериоценоза активного ила определяли стандартными методами посева в жидкие и плотные питательные среды [11-13].

Идентификацию микробиома кишечника животных (свиней) проводили по ГОСТ 10444.11-89, ГОСТ Р 56139-2014, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003), ГОСТ 28566-90 (СТ СЭВ 6646-89), ГОСТ 10444.12-2013.

Ферментацию загрязнителей органического происхождения проводили при температуре 40 ± 2 °С микробиомом кишечника свиней в концентрации 5 % к массе исходного сырья в течение 72 часов.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования состояния активного ила позволили выявить ряд особенностей (табл. 1). В видовом составе консорциума микроорганизмов активного ила на долю нитчатых бактерий приходится более 30 %. Это свидетельствует о тенденции активного ила к ухудшению очищающей способности.

Исследуемые сточные воды можно охарактеризовать как сильнозагрязненные (табл. 2). В процессе биологической очистки аммонийный азот снизился на 20,9 %. Следует отметить, что на мо-

мент проведения анализа степень нитрификации была невысокой. Содержание нитритов уменьшилось на 32,7 %, а нитратов – возросла на 51,7 %. В целом работу микроорганизмов, способных окислять аммоний, можно охарактеризовать как низкоэффективную. Увеличение фосфатов в очищенном стоке почти в 2 раза свидетельствует о недостаточной активности бактерий активного ила, способных усваивать фосфор. Избыточное содержание фосфатов в очищенной воде может привести к серьезным экологическим проблемам в водоемах [4].

Для улучшения условий работы флокулообразующих бактерий предварительно была проведена ферментация отходов животного происхождения

микробиомом кишечника свиней. Это позволило снизить общий уровень загрязнения исходных стоков по ХПК на 59,8 %, а после очистки – на 78,2 % (табл. 2). Также было отмечено снижение содержания аммонийного азота в исходном стоке в 3,9 раза, в 4,8 раза возрастает доля нитратного азота. Снижение аммонийного азота после очистки стока свидетельствует о глубокой минерализации основной части органических веществ и подтверждается появлением в стоке бактерий-нитрификаторов (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав микроорганизмов активного ила

До очистки	До очистки с предварительной ферментацией органических отходов микробиомом кишечника свиней
<p><i>Alcaligenes,</i> <i>Achromobacter,</i> <i>Arthrobacter,</i> <i>Bacillus,</i> <i>Bacterium</i> <i>Brevibacterium,</i> <i>Bdellovibrio,</i> <i>Beggiatoa,</i> <i>Caulobacter,</i> <i>Flavobacterium,</i> <i>Hyphomicrobium,</i> <i>Nocardia,</i> <i>Pseudomonas,</i> <i>Sphaerotilus,</i> <i>Thiothrix,</i> <i>Zoogloea</i></p>	<p><i>Actinomyces,</i> <i>Aeromonas,</i> <i>Alcaligenes,</i> <i>Achromobacter,</i> <i>Arthrobacter,</i> <i>Bacillus,</i> <i>Bacterium,</i> <i>Brevibacterium,</i> <i>Bdellovibrio,</i> <i>Caulobacter,</i> <i>Corynebacterium,</i> <i>Flavobacterium,</i> <i>Hyphomicrobium,</i> <i>Micrococcus,</i> <i>Mycobacterium,</i> <i>Nitrosomonas,</i> <i>Nitrobacter,</i> <i>Nocardia,</i> <i>Pseudomonas,</i> <i>Sphaerotilus,</i> <i>Zoogloea</i></p>

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Структура бактериологического сообщества активного ила изменилась в сторону увеличения флокулирующих микроорганизмов. Их доля в консорциуме увеличилась на 41,7 %.

Следует отметить, что снижение исходной концентрации загрязнителей в стоке привело к активизации микроорганизмов, усваивающих фосфор. Его концентрация после очистки снизилась до нормативных значений (табл. 2). В то время как в исходном стоке после биотрансформации загрязняющих веществ наблюдалось увеличение концентрации ортофосфатов в 2 раза.

Уменьшение количества загрязнений в сточной воде привело к развитию в биоценозе активного ила избирательного лизиса. В условиях старваии (голодания) усилилась борьба за источники питания между микроорганизмами, активизировались процессы их селекции. Это привело к формированию консорциума микроорганизмов с преобладанием флокулирующих бактерий и активному ингибированию деятельности нитчатых микроорганизмов (табл. 1). Из биоценоза исчезли нитчатые бактерии *Beggiatoa*, *Thiothrix*.

Таблица 2

Физико-химические показатели сточной воды

Сточная вода	ХПК, мг/дм ³	Аммоний, мг/дм ³	Нитриты, мг/дм ³	Нитраты, мг/дм ³	Фосфаты, мг/дм ³
До очистки	703,40 ± 12,2	70,80 ± 2,5	0,52 ± 0,1	4,45 ± 0,73	43,80 ± 2,5
После очистки	75,80 ± 3,5	56,00 ± 3,4	0,35 ± 0,1	6,75 ± 0,5	86,90 ± 4,2
До очистки с предварительной ферментацией органических отходов микробиомом кишечника свиней	282,50 ± 6,3	18,08 ± 3,1	0,41 ± 0,1	21,30 ± 3,5	6,30 ± 1,5
После очистки с предварительной ферментацией органических отходов микробиомом кишечника свиней	16,50 ± 2,7	0,12 ± 0,3	0,03 ± 0,02	0,10 ± 0,06	1,80 ± 0,5
СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы" (22.06.2000) (с изм. от 04.02.2011, с изм. от 25.09.2014)	30	1,5	3,3	45	2

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Полученные экспериментальные данные подтвердили исследования М. Zhang с соавторами [28]: снижение концентрации загрязняющих веществ может рассматриваться как одно из условий, позволяющих контролировать популяцию нитчатых микроорганизмов.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить факторы, влияющие на изменение состояния активного ила. Отмечена корреляционная зависи-

мость между снижением концентрации загрязняющих веществ и регенерацией биоценоза активного ила. При снижении загрязнений в исходной сточной воде по ХПК на 59,8 % микробиом активного ила претерпевает значительные изменения: увеличивается доля флокулирующих бактерий на 41,7 %, исчезли бактерии родов *Beggiatoa*, *Thiothrix*.

Библиографический список

1. ГОСТ 31859-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. Water. Method for determination of chemical oxygen demand MKC 13.060.50 : издание официальное : дата введения 2014.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-31859-2012> (дата обращения: 18.06.2020).
2. ГОСТ 33045-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters. MKC 13.060.50.: издание официальное: дата введения 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (дата обращения: 18.06.2020).
3. ГОСТ 18309-2014. Межгосударственный стандарт. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. Water. Methods for determination of phosphorus-containing matters. MKC 13.060.50 : издание официальное: дата введения 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115799> (дата обращения: 18.06.2020).
4. Дубовик, О. С. Совершенствование биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод / О. С. Дубовик, Р. М. Маркевич // Труды БГТУ. – 2016. – № 4. – С. 232–238. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-biotekhnologiy-udaleniya-azota-i-fosfora-iz-gorodskih-stochnyh-vod/viewer> (дата обращения: 18.06.2020).
5. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – Москва : АКВАРОС, 2003 (ФГУ ИПП Кострома). – 507 с. – Библиогр.: с. 467–476. – ISBN 5-901652-05-3.
6. Зайцева, И. С. Методы интенсификации биологической очистки сточных вод в аэротенках / И. С. Зайцева, Н. А. Зайцева, А. С. Воронина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 90–91. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibray_13757508_87508218.pdf (дата обращения: 18.06.2020).
7. Захватаева, Н. В. Активный ил как управляемая экологическая система / Н. В. Захватаева, А. С. Шеломков ; под ред. д.т.н., проф. Пупырева Е.И. – Москва : Экспо-Медиа-Пресс, 2013. – 285 с. – Библиогр.: с. 283–284. – ISBN 978-5-905701-05-04.
8. Ильинский, В. В. Оценка функциональной активности активного ила локально-очистного сооружения, действующего в условиях Арктического региона / В. В. Ильинский, Е. В. Крамаренко, Е. В. Макаревич // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20. – № 1/2. – С. 157–164. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-funktsionalnoy-aktivnosti-aktivnogo-ila-lokalno-ochistnogo-sooruzheniya-deystvuyuschego-v-usloviyah-arkticheskogo-regiona> (дата обращения: 20.06.2020).
9. Оценка влияния условий культивирования на способность микроорганизмов сточных вод к флокуляции / В. В. Ильинский, Е. В. Макаревич, Е. В. Крамаренко, В. В. Индушко // Вестник МГТУ. – 2017. –

Т. 20. – № 2. – С. 301–307. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-usloviy-kultivirovaniya-na-sposobnost-mikroorganizmov-stochnyh-vod-k-flokulyatsii> (дата обращения: 20.06.2020).

10. Методы санитарно-биологического контроля. Методическое руководство по гидробиологическому контролю нитчатых микроорганизмов активного ила. ПНД Ф СБ 14.1.92-96. – URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/397585/ (дата обращения: 19.06.2020).

11. Практикум по микробиологии / А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Л. М. Захарчук [и др.] ; под ред. А. И. Нетрусова. – Москва : Академия, 2005. – 608 с. – Библиогр.: с. 594–599. – ISBN 5-7695-1809. – URL: https://www.studmed.ru/view/netrusov-ai-egorova-ma-zaharchuk-lm-praktikum-po-mikrobiologii_9900f7e5a32.html (дата обращения: 19.06.2020).

12. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1997. – Т. 1. – 432 с. – Библиогр.: с. 429–431. – ISBN 5-03-003111.

13. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1997. – Т. 2. – 368 с. – Библиогр.: с. 365–367. – ISBN: 5-03-003112. – URL: https://www.studmed.ru/view/hoult-dzh-krig-n-opredelitel-bakteriy-berdzh-v-2-h-t-tom-2_f655ba7fd9d.html (дата обращения: 19.06.2020).

14. Усачева, К. В. Устранение нитчатого вспухания активного ила в условиях эксперимента / К. В. Усачева, Ю. К. Верес. – Минск : Изд. центр БГУ, 2012. – С. 65–69. – URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/49849> (дата обращения: 19.06.2020).

15. Шевченко, Т. А. Анализ причин нитчатого вспухания активного ила и меры борьбы с ним / Т. А. Шевченко, И. О. Иваненко // Комунальне господарство міст. – 2014. – № 14. – С. 67–70. – URL: https://eprints.kname.edu.ua/36622/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20_2014_%D0%A5%D0%9D%D0%A3%D0%93%D0%A5_%D1%80%D0%B5%D0%B41.pdf (дата обращения: 19.06.2020).

16. Нитчатое вспухание активного ила и эффект удаления питательных веществ // А. И. Щетинин, В. А. Юрченко, А. Н. Михнев [и др.] // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2009. – № 3. – С. 28–31. – Библиогр.: с. 31 (9 назв.). – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12518121_98509652.pdf (дата обращения: 19.06.2020).

17. Adonadaga, M.-G. Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Morphology and Settability of Activated Sludge Flocs / M.-G. Adonadaga // Journal of Applied & Environmental Microbiology. – 2015. – V. 3 (2). – P. 31–37. – DOI: <https://doi.org/110.12691/jaem-3-2-1> <http://pubs.sciepub.com/jaem/3/2/1/index.html>.

18. Study of 16 Portuguese activated sludge systems based on filamentous bacteria populations and their relationships with environmental parameters / L. Araújo dos Santos, V. Ferreira, M. M. Neto [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. – 2015. – V. 99. – P. 5307–5316. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6393-8>.

19. Eikelboom, D. H. Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation / D. H. Eikelboom. – London: IWA Publishing, 2000. – 163 p. – Corpus ID: 90987765. – ISBN-13: 978-1780406831, ISBN-10: 1780406835.

20. Filamentous bulking caused by *Thiothrix* species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy / O. Henriot, C. Meunier, P. Henry, J. Mahillon // Sci Rep. – 2017. – V. 7. – P. 1430. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01481-1>.

21. Kravchenko, A. V. A technique for normalizing the operation of biological wastewater treatment plants during the bulking of activated sludge / A. V. Kravchenko, V. S. Zalevskii // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2009. – V. 31. – P. 334. – DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050105>.

22. Majone, M. Aerobic storage under dynamic conditions in activated sludge processes. The state of the art / M. Majone, K. Dircks, J. J. Beun // Water Science and Technology. – 1999. – V. 39 (1). – P. 61–73. – DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0014>.

23. Filamentous bulking sludge – a critical review / A. M. P. Martins, K. Pagilla, J.J. Heijnen [et al.] // *Wat. Res.* – 2004. – V. 38. – № 4. – P. 793–817. – DOI: 10.1016/j.watres.2003.11.005.
24. Miłobędzka, A. Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal / A. Miłobędzka, A. Witeska, A. Muszyński // *Water Sci Technol.* – 2016. – V. 73 (4). – P. 790–797. – DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>.
25. Nemeth-Katona, J. The Environmental Significance of Bioindicators in Sewage Treatment / J. Nemeth-Katona // *Acta Polytechnica Hungarica.* – 2008. – Vol. 5 (3). – P. 117–124. – DOI: 10.2478/v10147-011-0026-8.
26. Wanner, J. Activated Sludge Bulking and Foaming Control / J. Wanner. – Technomic Publishing Co., Inc., USA, 1994. – 327 p. – DOI: 10.1201/9781498710817.
27. Williams, T. M. Isolation and characterization of filamentous bacteria present in bulking activated sludge / T. M. Williams, R. F. Unz // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 1985. – V. 22. – P. 273–282. – DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00252030>.
28. The microbial community in filamentous bulking sludge with the ultra-low sludge loading and long sludge retention time in oxidation ditch / M. Zhang, Y. Junqin, W. Xiyuan [et al.] // *Scientific RepoRts.* – 2019. – DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50086-3>.

References

1. GOST 31859-2012. *Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Metod opredeleniya himicheskogo potrebleniya kisloroda.* Water. Method for determination of chemical oxygen demand MKS 13.060.50: *izdanie oficial'noe: data vvedeniya* 2014.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-31859-2012> (date of access: 18.06.2020).
2. GOST 33045-2014. *Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Metody opredeleniya azotsoderzhashchikh veshchestv.* Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters. MKS 13.060.50: *izdanie oficial'noe: data vvedeniya* 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115428> (date of access: 18.06.2020).
3. GOST 18309-2014. *Mezhhgosudarstvennyj standart. Voda. Metody opredeleniya fosforsoderzhashchikh veshchestv.* Water. Methods for determination of phosphorus-containing matters. MKS 13.060.50: *izdanie oficial'noe: data vvedeniya* 2016.01.01. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115799> (date of access: 18.06.2020).
4. Dubovik O.S., Markevich R.M. (2016) *Sovershenstvovanie biotekhnologij udaleniya azota I fosfora iz gorodskikh stochnykh vod. Trudy BGTU, № 4, pp. 232-238* (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-biotekhnologiy-udaleniya-azota-i-fosfora-iz-gorodskih-stochnykh-vod/viewer> (date of access 18.06.2020).
5. Zhmur N.S. *Tekhnologicheskie i biohimicheskie process ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami.* Moscow: AKVAROS, 2003 (FGU IPP Kostroma). 507 p. ISBN 5-901652-05-3 (in Russian).
6. Zajceva I.S., Voronina A.S. (2010) *Metody intensivifikacii biologicheskoy ochistki stochnykh vod v aerotenkakh. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, № 2, pp. 90-91* (in Russian). URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13757508_87508218.pdf (date of access 18.06.2020).
7. Zahvataeva N.V., Shelomkov A.S. *Aktivnyj il kak upravlyaemaya ekologicheskaya sistema* / ed. by prof. E.I. Pupyrev. Moscow: Ekspo-Media-Press, 2013, 285 p. ISBN 978-5-905701-05-04 (in Russian).
8. Il'inskij V.V., Kramarenko E.V., Makarevich E.V. (2017) *Ocenka funkcional'noj aktivnosti aktivnogo ila lokal'no-ochistnogo sooruzheniya, dejstvuyushchego v usloviyakh Arkticheskogo regiona. Vestnik MGTU. Vol. 20, № ½, pp. 157-164* (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-funktsionalnoy-aktivnosti-aktivnogo-ila-lokalno-ochistnogo-sooruzheniya-deystvuyushchego-v-usloviyah-arkticheskogo-regiona> (date of access 20.06.2020).
9. Il'inskij V.V., Makarevich E.V., Kramarenko E.V., Indushko V.V. (2017) *Ocenka vliyaniya uslovij kul'tivirovaniya na sposobnost' mikroorganizmov stochnykh vod k flokulyacii. Vestnik MGTU. Vol. 20, № 2,*

pp. 301-307 (in Russian). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-usloviy-kultivirovaniya-na-sposobnost-mikroorganizmov-stochnyh-vod-k-flokulyatsii> (date of access 20.06.2020).

10. *Metody sanitarno-biologicheskogo kontrolya. Metodicheskoe rukovodstvo po gidrobiologicheskomu kontrolyu nitchatnykh mikroorganizmov aktivnogo ila*. PND F SB 14.1.92-96. URL: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/397585/ (date of access 19.06.2020) (in Russian).

11. Netrusov A.I., Egorova M.A., Zaharchuk L.M. (et al.) *Praktikum po mikrobiologii*. Moscow: Akademiya, 2005, 608 p. (in Russian). ISBN 5-7695-1809. URL: https://www.studmed.ru/view/netrusov-ai-egorova-ma-zaharchuk-lm-praktikum-po-mikrobiologii_9900f7e5a32.html (date of access 19.06.2020).

12. *Opredelitel' bakterij Berdzhii*. / ed. by Dzh. Hoult, N. Krig, P. Snit, Dzh. Stejli, S. Uill'yams. Moscow: Mir, 1997. Vol. 1. 432 p. ISBN 5-03-003111 (in Russian).

13. *Opredelitel' bakterij Berdzhii*. / ed. by Dzh. Hoult, N. Krig, P. Snit, Dzh. Stejli, S. Uill'yams. Moscow: Mir, 1997. Vol. 2. 368 p. ISBN: 5-03-003112 (in Russian). URL: https://www.studmed.ru/view/hoult-dzh-krig-n-opredelitel-bakteriy-berdzhii-v-2-h-t-tom-2_f655ba7fd9d.html (date of access 19.06.2020).

14. Usacheva K.V., Veres Yu.K. *Ustranenie nitchatogo vspuhaniya aktivnogo ila v usloviyakh eksperimenta*. Minsk: Izd. centr BGU, 2012, pp. 65-69 (in Russian). URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/49849> (date of access 19.06.2020).

15. Shevchenko T.A., Ivanenko I.O. (2014) *Analiz prichin nitchatogo vspuhaniya aktivnogo ila i mery bor'by s nim. Komunal'ne gospodarstvo mist*, № 14, pp. 67-70 (in Russian). URL: https://eprints.kname.edu.ua/36622/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20_2014_%D0%A5%D0%9D%D0%A3%D0%93%D0%A5_%D1%80%D0%B5%D0%B41.pdf (date of access 19.06.2020).

16. Shchetinin A.I., Yurchenko V.A., Mihnev A.N. (et al.) (2009) *Nitchatoe vspuhanie aktivnogo ila i effect udaleniya pitatel'nykh veshchestv. Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie*, № 3, pp. 28-31. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12518121_98509652.pdf (date of access 19.06.2020).

17. Adonadaga M.-G. (2015) Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Morphology and Settleability of Activated Sludge Floes. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, Vol. 3 (2), pp. 31-37. DOI: <https://doi.org/10.12691/jaem-3-2-1http://pubs.sciepub.com/jaem/3/2/1/index.html>.

18. Araújo dos Santos L., Ferreira V., Neto M.M. (2015) Study of 16 Portuguese activated sludge systems based on filamentous bacteria populations and their relationships with environmental parameters. *Appl Microbiol Biotechnol*. Vol. 99, pp. 5307-5316. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6393-8>.

19. Eikelboom D.H. *Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation*. London: IWA Publishing, 2000. 163 p. Corpus ID: 90987765. ISBN-13: 978-1780406831, ISBN-10: 1780406835.

20. Henriot O, Meunier C., Henry P., Mahillon J. (2017) Filamentous bulking caused by *Thiothrix* species is efficiently controlled in full-scale wastewater treatment plants by implementing a sludge densification strategy. *Sci Rep*. Vol. 7, p. 1430. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01481-1>.

21. Kravchenko A.V., Zalevskii V.S. (2009) A technique for normalizing the operation of biological wastewater treatment plants during the bulking of activated sludge. *Journal of Water Chemistry and Technology*. Vol. 31, p. 334. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050105>.

22. Majone M., Dircks K., Beun J.J. (1999) Aerobic storage under dynamic conditions in activated sludge processes. The state of the art. *Water Science and Technology*. Vol. 39 (1), pp. 61-73. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0014>.

23. Martins A.M.P., Pagilla K., Heijnen J.J. (et al.) (2004) Filamentous bulking sludge – a critical review. *Wat. Res*. Vol. 38, № 4, pp. 793-817. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.005>.

24. Miłobędzka A., Witeska A., Muszyński A. (2016) Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal. *Water Sci Technol*. Vol. 73 (4), pp. 790-797. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>.

25. Nemeth-Katona J. (2008) The Environmental Significance of Bioindicators in Sewage Treatment. *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 5 (3), pp. 117-124. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10147-011-0026-8>.
26. Wanner J. Activated Sludge Bulking and Foaming Control. Technomic Publishing Co., Inc., USA, 1994, 327 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781498710817>.
27. Williams T.M., Unz R.F. (1985) Isolation and characterization of filamentous bacteria present in bulking activated sludge. *Appl Microbiol Biotechnol.* Vol. 22, pp. 273-282. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00252030>.
28. Zhang M., Junqin Y., Xiyuan W. (et al.) (2019) The microbial community in filamentous bulking sludge with the ultra-low sludge loading and long sludge retention time in oxidation ditch. *Scientific Reports*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50086-3>.

Сведения об авторах

Брындина Лариса Васильевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и правовых отношений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: bryndinv@mail.ru.

Корчагина Анна Юрьевна – аспирант ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: nuta10011@yandex.ru.

Information about authors

Bryndina Larisa Vasilyevna – DSc (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety and Legal Relations, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: bryndinv@mail.ru.

Korchagina Anna Yuryevna – post-graduate student, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: nuta10011@yandex.ru.

РОЛЬ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ НОВООБРАЗОВАНИЙ И ИХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЛЕСОПАРКОВЫХ ЗОН

кандидат биологических наук, доцент **И.М. Казбанова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

В последние годы проявляется большой интерес к патогенным новообразованиям у растений и их возбудителям. Это объясняется возможностями их использования в различных сферах окружающей среды и охватывает биологические аспекты природных и искусственных экосистем в нормальном и нарушенном состоянии, а также оценку и прогнозирование природных циклов биологически активных веществ, способность экосистем к самоочищению, оценку положительного воздействия человека на природу. Именно поэтому для сохранения и развития нормального функционирования природных экосистем крайне важно выяснить действительное значение природных факторов и развития процессов галлообразования в природных экосистемах, а также действительные масштабы антропогенного воздействия в них. Это особенно важно, когда нарушения природной среды в лесопарковых зонах достигли больших уровней и носят критический характер. Одну из важных частей проблемы в биологическом аспекте представляют оценка и прогнозирование природной среды в лесопарковых зонах, поэтому возникает необходимость рассмотрения взаимоотношений между древесными насаждениями в лесопарковых зонах и возбудителями патологических новообразований, а также необходимо выяснить, какая существует взаимосвязь между древесными насаждениями и возбудителями патологических новообразований.

Ключевые слова: патологические новообразования, лесопарковая зона, дубовые орехотворки, тератогены, галоген

ROLE OF PATHOLOGICAL NEW FORMATIONS AND THEIR AGENTS IN THE FUNCTIONING OF NATURAL ECOSYSTEMS OF FOREST PARK ZONES

PhD (Biology), Associate Professor **I.M. Kazbanova**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

In recent years, there has been great interest in pathogenic growths in plants and their pathogens. This is explained by the possibilities of their use in various environmental spheres and covers biological aspects of natural and artificial ecosystems in normal and disturbed state, as well as the assessment and forecasting of natural cycles of biologically active substances, the ability of ecosystems to self-purify, and an assessment of the positive human impact on nature. That is why, it is extremely important (for the preservation and development of the normal functioning of natural ecosystems) to find out the real significance of natural factors and development of gall formation processes in natural ecosystems, as well as the actual scale of anthropogenic impact in them. This is especially important when disturbances have reached high levels and are critical in the natural environment in forest park zones. One of the important parts of the problem is assessment of predicting the natural environment in forest park zones. Therefore, it becomes necessary to consider the relationship between tree plantations in forest park zones and pathogens of patho-

logical neoplasms. It is also necessary to find out what there is a relationship between tree plantations and pathogens of pathological growths.

Keywords: pathological growths, forest park zone, oak gallflies, teratogens, halogen

Введение

Предлагается рассмотреть пример дубовых орехотворок, которые обитают на дубе черешчатом в лесопарковой зоне г. Воронежа. Дуб черешчатый на объекте исследований представлен двумя формами: ранораспускающийся и позднораспускающийся. Поэтому в зависимости от видовой принадлежности дуба его заселяют разные виды орехотворок, которые являются одним из многочисленных представителей патологических новообразований. Трудности в исследовании и кажущуюся малоактуальность этого вопроса в процентах объясняет его малоизученность, ведь возбудители галлов, в которых и развиваются дубовые орехотворки, и паразитарных тератоморф во многих систематических группах особенно распространены среди насекомых *Hymenoptera* [4, 11]. Проблема галлогенеза имеет огромный интерес с точки зрения физиологии развития и экспериментальной морфологии растений. Связь паразитарных тератоморф с растением-хозяином заключается в возможности питаться тканями высших растений. Ведь эта связь возникла у них не случайно, а на определенном этапе пищевой специализации [6]. Галлы дубовых орехотворок открыто доступны для наблюдения, сравнительно легко диагностируются, и ориентируясь на них, легче заметить изменения в состоянии окружающей среды, чем проследить эти изменения непосредственно на растительном покрове или в геофизических средах. Обоснованием для выбора именно этих представителей дендрофильных насекомых является то, что они как биоиндикаторы окружающей среды наиболее перспективны ввиду того, что тесная связь, существующая между ними и окружающими их условиями среды, делает возможным использование их в качестве показателей этих условий.

Современные проблемы загрязнения зеленых зон крупных городов включают состояние и воздействие на человека городской и производственной среды, а также геохимические и биологические аспекты, нормативные характеристики природных экосистем в нормальном или нарушенном состоянии. Оценка, прогнозирование состояния природной среды зеленых

зон крупных городов в биологическом плане составляет одну из ведущих и сложных частей проблемы загрязнения, что особенно возрастает в связи с тем, что общество решительно настроено на еще большую интенсификацию производства и эксплуатацию природных ресурсов. В связи с этим мониторингу загрязнения лесопарковых зон уделяется первостепенное внимание.

Возбудители листовых галлов характеризуются привязанностью к определенным листьям, занимающим определенное место в листовой серии, на ветви каждого порядка и в каждой формации листьев в пределах кроны [10]. Характерной особенностью является скорость развития личинок орехотворок, которая связана с адаптацией к срокам дифференциации тканей и вегетации листьев пораженных видов растений.

Дубовые орехотворки (*Cynipoidea*) в большей степени приурочены к позднораспускающейся формации дуба, тогда как ранораспускающиеся формы дуба не поражаются орехотворками или поражаются в незначительной степени [1]. В данном случае наблюдается явная зависимость между процессом развития яиц орехотворок и их устойчивостью к воздействию низких температур, с одной стороны, и процессами формирования почек дуба и устойчивостью деревьев к холоду в начале развития, с другой стороны [7]. Сильная зависимость сроков развития тератогенов и галогенов от фенологии растений-хозяев позволяет своевременно, в оптимальные сроки применять соответствующие меры борьбы. Среди *Cynipoidea* возбудителями патогенных новообразований являются виды из родов *Andricus* (безволосые), *Cynips* (волосистые), *Diplolepis* (мохноногие), *Neuroterus* (гладкоспинные). Наибольшее число видов связано с различными видами дуба.

Материалы и методы

Объектом исследований являются порослевые дубравы зеленой зоны г. Воронежа. Основные сборы галогенов проводились на территории Правобережного и Левобережного лесничеств ВГЛТУ,

а также в районах других лесхозов, которые наиболее подвержены негативному воздействию факторов рекреационной дигрессии. Орехотворки, обитающие на дубе (дубовые орехотворки), лишь sporadически привлекали внимание. Методика сбора галогенов соответствовала рекомендациям О.П. Негрובה и В.Б. Голуба. Наблюдения за развитием орехотворок проводились в полевых и лабораторных условиях.

Встречаемость орехотворок определялась в осенний период до выпадения снега по галлам в лесной подстилке, выражалась частотой нахождения учитываемых особей на пробных площадках в долях единицы. Размер учетных площадок – 1.

$$F = \frac{n}{N},$$

где F (frequency) – встречаемость орехотворок, n – число учетных площадок, на которых обнаружен то или иной вид орехотворок, N – общее число учетных площадок.

Обилие орехотворок определялось как среднее число особей (галлов) на единицу учета (1 м² лесной подстилки):

$$A = \frac{m}{N},$$

где A (abundance) – показатель обилия орехотворок, m – число особей (галлов того или иного вида орехотворок, обнаруженных на определённой группе учетных площадок), N – число учетных площадок.

Оценка уровня биологического разнообразия проводилась по формуле Шеннона:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \times \log_2 p_i,$$

где H – уровень биологического разнообразия, измеряемый в битах, i – учитываемые источники биоразнообразия изучаемой лесной экосистемы, p_i – вероятность их проявления, n – число учетных источников биоразнообразия.

Таблица 1

Сравнительная заселяемость дубовыми орехотворками рано- и позднезаселяющихся деревьев дуба черешчатого

Виды орехотворок	Фенологические расы <i>Q. robur</i>	
	ранняя	поздняя
<i>Diplolepis quercusfolii</i> Яблоковидная орехотворка	++++	++
<i>Neuroterus numismalis</i> Нумизматическая орехотворка	++++	++
<i>Andrieus testaceipes</i> Конусовидная орехотворка		+
<i>Andricus inflator</i> Почковая орехотворка	+++	+++
<i>Andricus fecundator</i> Шишковидная орехотворка	+++	++
<i>Diplolepis longiventris</i> Волосистая полосатая орехотворка	+++	
<i>Neuroterus albipes</i> Дисковидная (лепёшковидная) орехотворка	+++	++
<i>Biorhiza pallid</i> Корневая орехотворка	+++	++
<i>Andricus callidoma</i> Стебельчатая орехотворка	++	
<i>Andricus curvator</i> Стягивающая орехотворка	++	
Сумма	27 +	14 +

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Минимальное необходимое число наблюдений, необходимое для получения статистически достоверных результатов

$$n = \left(\frac{s_x \% \times t}{k} \right)^2,$$

где n – минимально необходимое число наблюдений, s_x % – коэффициент изменчивости, t – показатель доверенности, k – принятая точность проводимых исследований.

Результаты и обсуждения

В порослевых дубравах зелёной зоны г. Воронежа дуб черешчатый, как известно, представлен двумя расами – ранораспускающейся и позднораспускающейся. Уже в ходе лесопатологических обследований было установлено, что отдельные виды орехотворок к расовым особенностям дуба относятся избирательно. Более точная информация представлена в табл. 1.

Наглядно приведенные в таблице данные представлены на рис. 1.

Как следует из приведенной табл. 1, дубовые орехотворки в порослевых дубравах зелёной зоны г. Воронежа заселяют как рано-, так и позднораспускающиеся деревья дуба черешчатого, но в целом явное предпочтение отдают первой расе. Лишь конусовидная орехотворка отмечена только на корнях позднораспускающегося подроста дуба черешчатого.

Анализируя по данному вопросу литературные данные, следует отметить, что позднораспускающаяся форма может предпочтительно поражаться *Neuroterus quercusfassarum*, *N. Numismalis*, *N. Laceniusculus*, *Cynips longiventris*, *C. Quercus*, *Andricus testacupes*, в то время как и на ранораспускающейся расе дуба черешчатого может преобладать *Andricus curvate* [3]. В то же время существует и мнение [3], что орехотворки в большей степени приурочены к позднораспускающимся формам дуба, тогда как распускающиеся формы не поражаются или поражаются в незначительной степени.

Приведенные материалы позволяют утверждать, что специфичность является одним из наиболее характерных признаков возбудителей патологических новообразований. Она проявляется вне зависимости от того, на каких растениях-хозяевах

эти паразитические организмы обитают, к каким жизненным формам последние принадлежат и каков их ареал [2].

Различия в поражаемости различных видов дуба дубовыми орехотворками несравнимы в данных условиях, поскольку представительства дуба черешчатого и интродуцированных видов дуба очень различны.

Однополые поколения отличаются большей топической специфичностью, чем обоеполые [10, 11].

Глубокая связь видов *Cynipoidea* – фитофагов с растениями-хозяевами имеет следствием зависимость процесса становления их специфичности от онтогенетических особенностей растений-хозяев. Свидетельством зависимости являются отличия в их избирательности по отношению к растениям с различной фенологией развития, например, разные формы дуба по срокам распускания. Цикл развития орехотворок изучался в тесной связи с фенологическим развитием растения-хозяева – дуба черешчатого.

Выживаемость орехотворок в сильной мере зависит от совпадения фактических циклов развития орехотворок и их основного хозяина – дуба черешчатого. Задержка цветения дуба или распускание листьев ведут к массовой гибели орехотворок. Полное совпадение циклов ведёт к массовому размножению орехотворок, что особенно характерно для нумизматической орехотворки.

Большинство вредителей галлообразователей характеризуется узкой топической специфичностью, а так же адаптирована к многим особенностям из-за хозяев-растений [6].

Наблюдается явная зависимость между процессом развития яиц орехотворок и их устойчивостью к воздействию низких температур, с одной стороны, и процессами формирования почек дуба и устойчивостью деревьев к холоду в начале развития, с другой стороны [7], сильная зависимость сроков развития тератогенов и галогенов от фенологии растений-хозяев позволяет своевременно, в оптимальные сроки применять соответствующие меры борьбы [2, 8].

Учетные деревья брались в участках с разной степенью дигрессии, в основном это 3 и 4.

Сравним данные 1949 г. с годами проведенных нами исследований.

В 1949 г. поздняя форма дуба выделялась не только числом пораженных деревьев, но и исключительным обилием галлов в них.

В 2015 ранняя форма дуба была поражена галлами рода *Andricus* на 50 %, а рода *Diplolepis* – на 66 %.

Пробы были взяты в начале июня с ранней и поздней форм дуба в опытных объектах Животиновского, Правобережного лесничества лесопарковой зоны, а также на отдельных участках с преобладанием дуба в Левобережном лесничестве. Все эти участки имели разный возраст спелости данных форм дуба [11].

Растение лишь локализует место поражения, резко повышая в частности содержание дубильных веществ в галле, не причиняя вреда развивающемуся насекомому.

Выдающийся энтомолог прошлого столетия Г.Я. Бей-Биенко писал: «Вредоносное значение галлообразователей обычно ничтожно вследствие чисто местной реакции растения». С этим нельзя согласиться, потому что в последние десятилетия уровень видового разнообразия орехотворок снизился, но увеличилась плотность популяций отдельных видов.

Учет на крупных модельных ветвях порослевого дуба черешчатого показал, что доля отмерших побегов от шишковидной орехотворки может достигать 12,6 % (табл. 2).

Поражаемость различных органов дуба орехотворками представлена в табл. 3.

Как следует из табл. 3, трофически наибольшее число видов орехотворок (8) связано с листьями дуба черешчатого, 3 вида – с почками; по одному виду отмечено на цветках и корнях, 2 вида – на стволе.

Сравним данные наших исследований с данными прошлых лет (данные профессора П.А. Положенцева и профессора Н.И. Коровина, 1957 год) и выясним изменения состава дубовых орехотворок (табл. 4).

Значительное влияние на патогенность галлообразователя – шишковидной орехотворки оказывает уровень химического загрязнения среды обитания. При этом различия между процентом отмерших побегов в условиях фонового и низкого уровня загрязнения статистически не достоверны ($t_{ct} = 2,5 < 3,8$); между процентом фонового, среднего и высокого уровней загрязнения достоверны при уровне значимости 5 % ($t_{ct} > 3,8$).

Таблица 2

Влияние химического загрязнения на долю отмерших побегов дуба, пораженных шишковидной орехотворкой

Уровень химического загрязнения насаждений	% отмерших побегов из-за поражённости шишковидной орехотворкой
Высокий	12,6 *
Средний	11,2*
Низкий	3,3 ^{n.s.}
Фоновый	2,1

Примечание: α в отношении к фону: n.s. – нет различий, * 5 %

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Поражаемость различных органов дуба орехотворками

Виды орехотворок	Поражаемые органы дуба черешчатого				
	Цветки	Листья	Почки	Ствол	Корни
<i>Andricus scallidoma</i> Htd. (Стебельчатая)	+				
<i>Andricus curvator</i> Htd. (Стягивающая)		+			
<i>Andricus inflator</i> Htd. (Почковая)			+		
<i>Andricus foecundatrix</i> Hart. (Шишковидная)			+		
<i>Andricus ostreus</i> Hart. (Устрицеобразная)		+			
<i>Andricus testaceipis</i> Hart. (Конусовидная)		+		+	
<i>Andricus testaceipis</i> Ol. (Корневая)			+		+
<i>Diplolepis quercusfolii</i> L. (Яблоковидная)		+			
<i>Andricus callidoma</i> Htd. (Стебельчатая)		+			
<i>Frigonapsis megaptera</i> Parz. (Большекрылая)				+	
<i>Neuroterus albipes</i> Schl. (Лепешковидная)		+			
<i>Neuroterus numismales</i> Fourc. (Нумизматическая)		+			
<i>Neuroterus quercus-baccarum</i> L. (Виноградообразная)		+			
Число видов по поражаемым органам дуба черешчатого	1	8	3	2	1

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Таблица 4

Число пораженных рано- и позднораспускающихся деревьев дуба черешчатого дубовыми орехотворками

Форма дуба	Срок распускания листьев	Число учетных деревьев	Число пораженных деревьев			
			<i>Andricus</i>		<i>Diplolepis</i>	
			n	%	n	%
ранняя	1-6 V	29	2	6,9	2	6,9
поздняя	11-20 V	31	20	20	23	74,2
В 1999 году						
ранняя	1015 V	30	15	50	20	66
поздняя	20-28 V	34	9	45	5	21
В 2000 году						
ранняя	2-8 V	60	40	66,6	50	83,3
поздняя	10-23 V	30	22	73,3	17	56,6
В 2001 году						
ранняя	1-6 V	48	28	58,3	34	70,8
поздняя	11-20	24	18	75	21	87,5
В 2019 году						
ранняя	12-18 V	22	5	22,7	21	95,4
поздняя	25-30 V	44	15	34,0	6	36,3

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Распределение обследованных экземпляров подроста дуба черешчатого, поражённых конусовидной орехотворкой, по степени жизнеспособности (V)

Параметры	Число экз.	%
Всего обследовано экземпляров	34	100
Их них поражено орехотворкой	28	82,4
Распределение поражённых экземпляров по степени жизнеспособности, V		
Без внешних признаков угнетения	2	7,1
Ослабленные	3	10,7
Больные	15	53,6
Отмирающие	5	17,9
Мертвые	3	10,7

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

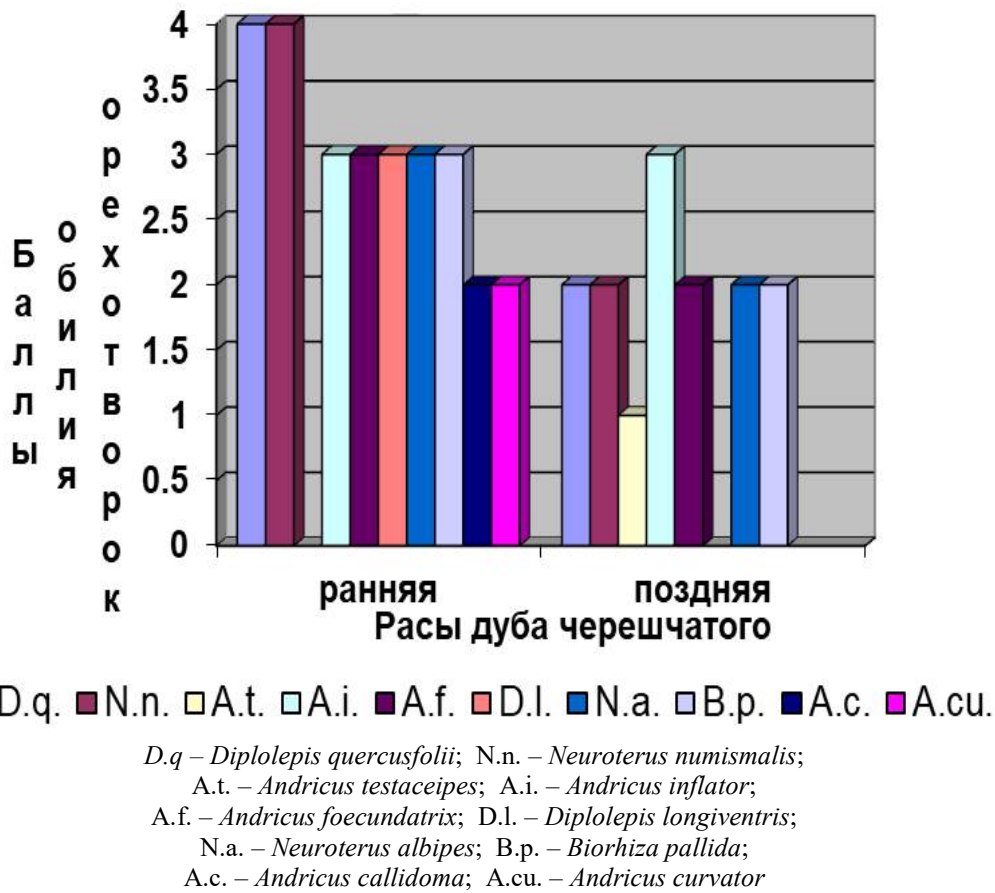


Рис. 1. Сравнительная заселяемость дубовыми орехотворками рано- и позднецветущих деревьев дуба черешчатого

(собственные экспериментальные данные и вычисления автора)

Поражаемость подростка дуба конусовидной орехотворкой в период исследований была высокой. Вероятно, это связано с тем, что подрост в исследуемых насаждениях был редким. В то же время сексуальное поколение орехотворки (на листьях дуба) широко распространено и постоянно продуцирует особей для заселения достаточно редко встречающихся экземпляров подростка дуба.

Проблемы в исследовании галлообразователей и тератогенов – это определение структуры видовых популяций, т.к. среди них есть виды, особи которых в патологических новообразованиях развиваются одиночно.

В природных экосистемах лесопарковых зон вред, наносимый тератогенами, определяется их видовым качественным признаком. Что же касается дубовых орехотворок, то патогенное воздействие их на древесной невелико. Это можно отнести к другим узкоспециализированным родам. Действительно, на листьях дуба можно видеть значитель-

ные скопления галлов различных возбудителей без явных проявлений патологического состояния или угнетения этих листьев в целом [6].

Следует отметить, значительное влияние на патогенность тератогена и галогена оказывают экологические условия и стадии условий мест произрастания растений-хозяев [9].

Заключение

В лесопарковых зонах в сравнении с другими ландшафтами одним из важных воздействий на тератогены и галогены является рекреационная дигрессия, которая проявляется в загрязнении воздуха копотью, твердыми окислами и двигателями внутреннего сгорания. В результате изменяется трофический и ассимиляционный режим растений, он очень чутко реагирует на присутствие в воздухе этих вредных веществ, в результате чего растения ослабляются и погибают.

Библиографический список

1. Жиренко, Н. Г. Последствия массового поражения дубрав нумизматической и лепешковидной орехотворками в Теллермановском лесном массиве / Н. Г. Жиренко // Лесоведение. – 2017. – № 4. – С. 303–310. – Библиогр.: с. 304–306.
2. Карандина, С. Н. К вопросу об особенностях ранней и поздней рас дуба / С. Н. Карандина // Ученые записки ЛГУ. Серия биологических наук. – 1950. – Вып. 25. – № 134. – С. 35–41. – Библиогр.: с. 36–37.
3. Мигранов, М. Г. Орехотворки / М. Г. Мигранов // Башкирская энциклопедия. В 7 т. ; гл. ред. М. А. Ильгамов. – Уфа, 2008. – 551 с. – Библиогр.: с. 129–133.
4. Слепян, Э. Я. Приобретение способности вызывать образование галлов / Э. Я. Слепян // Энтомологическое обозрение. – Москва, 1961. – 10 с. – Библиогр.: с. 6–9.
5. Стадницкий, Г. В. О дискретности популяций / Г. В. Стадницкий, А. М. Бортник // Труды Московского лесотехнического института. – 1974. – № 65. – С. 19–35. – Библиогр.: с. 19–20.
6. Ширяева, Н. В. О путях защиты и сохранения лесных насаждений и коллекционных растений Сочинского национального парка от инвазивных организмов / Н. В. Ширяева // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий : сб. ст. VI Всерос. науч.-практ. конференции. – 2019. – С. 324–331. – Библиогр.: с. 324–325.
7. Новые данные об инвазиях чужеродных насекомых-вредителей (Insecta: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera) в лесах Северо-Западного Кавказа / В. И. Щуров, А. С. Бондаренко, Е. Н. Вибе [и др.] // Экология: рациональное природопользование и безопасность жизнедеятельности : сб. матер. Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием ; Адыгейский государственный университет. – 2017. – С. 114–124. – Библиогр.: с. 116–117.
8. Quesada-Moraga, E. Systemic Protection of *Papaver somniferum* L. Against *Iraellaluteipes* (Hymenoptera: Cynipidae) by an Endophytic Strain of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) / E. Quesada-Moraga, F. J. Munoz-Ledesma, C. Santiago-Alvarez // Environmental Entomology. – 2009. – Vol. 38, № 3. – P. 723–730.
9. Current state of knowledge of Heterogony in Cynipidae (Hymenoptera, Cynipoidea) / J. Pujade-Villar, D. Bellido, G. Segú, G. Melika // Sessió Conjuntada' Entomologia. ICHN-SCL, Barcelona. – 2001. – № 11 (1999). – P. 87–107.

10. Application of ISSR to study the genetic diversity of honeybee (*Apismellifera* L.) populations in some areas of Iran / H. Shouhani, A. Dousti, R. Radjabi, M. Zarei // *J. BioSci. Biotech.* – 2016. – Vol. 3 (2). – P. 127–137.
11. Genetic Diversity of *Sogatellafurcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in China Detected by Inter-Simple Sequence Repeats / J. N. Xie, J. J. Guo, D. C. Jin, X. J. Wang // *J. Insect Sci.* – 2014. – P. 233–245.

References

1. Zhirenko N.G. (2017) *Posledstviya massovogo porazheniya dubrav numizmaticheskoy i lepeshkovidnoj orehotvorkami v Tellermanovskom lesnom massive* [Consequences of mass destruction of oak forests with numismatic velvet-like nut-making machines in Tellermanovskiy forest massif]. *Lesovedenie*, Vol. 4, pp. 303-310 (in Russian).
2. Karandina S.N. (1950) *K voprosu ob osobennostyah rannej i pozdnej ras duba* [On the features of early and late oak races]. *Uchenye zapiski LGU. Seriya biologicheskikh nauk*, Vol. 25, pp. 35-41 (in Russian).
3. Migranov M.G. *Orehotvorki* [Nutwork]. In: *Bashkirskaya enciklopediya*. V 7 t. ed. in chief: M.A. Il'gamov. Ufa, 2008. 551 p. (in Russian).
4. Slepyan E. Ya. (1961) *Priobretenie sposobnosti vyzyvat' obrazovanie gallov* [Acquisition of the ability to cause the formation of galls]. *Jentomol. obozr.* Moscow, 1961. 10 p. (in Russian).
5. Stadnitsky G.V., Bortnik A.M. *O diskretnosti populacij* [On the discreteness of populations]. *Trudy Moskovskogo lesotekhnicheskogo instituta*. 1974. No. 65, pp. 19-35 (in Russian).
6. Shirjaeva N.V. *O putyah zashchity i sohraneniya lesnykh nasazhdenij i kollekcionnykh rastenij Sochinskogo nacional'nogo parka ot invazivnykh organizmov* [About the ways of protection and preservation of forest plantations and collection plants of the Sochi national park from invasive organisms]. In: *Ustojchivoe razvitie osobo ohranjaemykh prirodnykh territorij* [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference]. 2019. pp. 324-331 (in Russian).
7. Shchurov V.I., Bondarenko A.S., Vibe E.N. (et al.) *Novye dannye ob invazijah chuzherodnykh nasekomykh-vreditel' (Insecta: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera) v lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [New data on invasions of alien insect pests (Insecta: Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera) in forests of the North-West Caucasus]. In: *Jekologija: racional'noe prirodopol'zovanie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti* [Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference], 2017, pp. 114-124 (in Russian).
8. Quesada-Moraga E., Munoz-Ledesma F.J., Santiago-Alvarez C. (2009) Systemic Protection of *Papaver somniferum* L. Against *Iraellaluteipes* (Hymenoptera: Cynipidae) by an Endophytic Strain of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Environmental Entomology*. Vol. 38, № 3, pp. 723-730.
9. Pujade-Villar J., Bellido D., Segú G., Melika G. (2001) Current state of knowledge of Heterogony in Cynipidae (Hymenoptera, Cynipoidea). *Sessió Conjuntad' Entomologia. ICHN-SCL, Barcelona*. № 11 (1999), pp. 87-107.
10. Shouhani H., Dousti A., Radjabi R., Zarei M. (2016) Application of ISSR to study the genetic diversity of honeybee (*Apismellifera* L.) populations in some areas of Iran. *J. BioSci. Biotech.* Vol. 3(2), pp. 127-137.
11. Xie J.N., Guo J.J., Jin D.C., Wang X.J. (2014) Genetic Diversity of *Sogatellafurcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in China Detected by Inter-Simple Sequence Repeats. *J. Insect Sci.*, pp. 233-245.

Сведения об авторе

Казбанова Ирина Михайловна – кандидат биологических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и правовых отношений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail:kazbani@yandex.ru.

Information about the author

Kazbanova Irina Mikhailovna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Life Safety and Legal Relations, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: kazbani@yandex.ru.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА АДАПТАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **Т.Е. Галдина**

кандидат биологических наук, доцент **Е.П. Хазова**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Сосна обыкновенная – широко распространенный вид, способный приспосабливаться к различным условиям произрастания. Важно проследить закономерности приспособляемости вида к ксероморфным условиям, что позволит обоснованно расширять границы выращивания этого растения и создавать условия для получения высококачественной древесины сосны. Проведены сравнительно-анатомические исследования листа *Pinus sylvestris* L. в естественных борах сосны обыкновенной: зона широколиственных лесов (Брянская область), южная лесостепь (Воронежская область), сухая степь (Волгоградская область) и в географических культурах брянского, воронежского, волгоградского происхождения, произрастающих в одинаковых условиях центральной лесостепи. В результате наших исследований выявлена анатомическая изменчивость органов листа при перемещении в аридные условия, что свидетельствует о приспособительной реакции вида. Исследования географических культур экотипов сосны обыкновенной из зоны широколиственных лесов, южной лесостепи и сухой степи позволили отметить, что морфолого-анатомическая структура хвои изменяется до местных экотипов. Однако отмечено, что закономерность различия морфолого-анатомической структуры хвои, наблюдаемая в различных лесорастительных условиях, прослеживается и в географических культурах разного происхождения (Брянского, Воронежского и Волгоградского). Таким образом, происходит структурная адаптация вида к новым условиям произрастания, но сохраняется генетическая закономерность подвида, которая отражает продолжительность и интенсивность роста всех органов растения. Генетические показатели в целом определяют продуктивность и устойчивость насаждений.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, морфолого-анатомические исследования хвои, структурная адаптация, географические культуры, естественные боры сосны обыкновенной, зона широколиственных лесов, южная лесостепь, сухая степь

INFLUENCE OF CLIMATIC AND GEOGRAPHIC FACTORS ON THE SCOTS PINE ADAPTABILITY

PhD (Agriculture), Associate Professor **T.E. Galdina**

PhD (Biology), Associate Professor **E.P. Khazova**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov"
Voronezh, Russian Federation

Abstract

Scotch pine is a widespread species that can adapt to various growing conditions. It is important to trace the patterns of adaptability of the species to xeromorphic conditions, which makes it possible to reasonably expand the boundaries of this plant growing and create conditions for obtaining high-quality pine wood. Comparative anatomical studies of *Pinus sylvestris* L. needle in natural pine forests have been carried out: zone of broad-leaved forests (Bryansk region), southern forest steppe (Voronezh region), dry steppe (Volgograd region) and in provenances of Bryansk, Voronezh, Volgograd origin, growing in the same conditions of the central forest-steppe. As a result of our studies, anatomical variability of needle organs was revealed when moving to arid conditions, which indicates the adaptive response of

the species. Studies of the provenances of Scots pine ecotypes from the zone of deciduous forests, southern forest-steppe and dry steppe, have made it possible to note that morphological and anatomical structure of needles changes to local ecotypes. However, it was noted that regularity of differences in morphological and anatomical structure of needles, observed in different forest conditions, is also traced in geographical cultures of different origins (Bryansk, Voronezh and Volgograd). Thus, structural adaptation of the species to the new growing conditions occurs, but genetic regularity of the subspecies remains, which reflects the duration and intensity of growth of all the plant organs. Genetic indicators (in general) determine the productivity and resilience of plantings.

Keywords: Scots pine, morphological and anatomical studies of needles, structural adaptation, provenances, natural pine forests, broad-leaved forest zone, southern forest-steppe, dry steppe

Введение

Pinus sylvestris L. является очень пластичным видом, поскольку произрастает в различных почвенно-климатических условиях и имеет широкую экологическую амплитуду [8].

Сосна обыкновенная имеет широкое распространение в Евразии. Особенно активное её продвижение наблюдается в Сибири и европейских странах. Северная граница сосновых лесов отмечена у Лапландии, а южная проходит в Монголии и Китае. На востоке сосна доходит до сибирских рек Алдан и Амур. Ареал распространения вида отмечен в Испании и Великобритании. Популяции сосны обыкновенной образуются на песчаных, супесчаных и торфяных почвах, реже – на глинистых.

Высокая степень приспособляемости сосны обыкновенной подтверждается шириной ареала распространения [12, 13]. При детальном изучении анатомо-морфологической структуры листа можно проследить изменения на уровне клеточного строения. Структура клеток каждого уровня легко перестраивается в зависимости от смены условий произрастания и физиологических особенностей вида, о чём свидетельствуют изменения показателей и внешних признаков хвои по данным многолетних исследований разных авторов [1, 3, 4, 6].

Известно, что вегетативные органы первыми реагируют на изменение внешних условий [11]. Также отмечена изменчивость анатомо-морфологического строения листа в зависимости от степени загрязнённости территории [7, 14].

Установлено, что анатомо-морфологическая характеристика структуры листа является отражением интенсивности роста органов растения и, соответственно, определяет его продолжительность, что оказывает влияние на продуктивность и устойчивость на-

саждений в целом. В географических культурах сосны обыкновенной изменения структурных признаков проявляются более тонко, нежели в естественных борах. Опираясь на результаты исследований авторов, изучающих географические культуры [2, 5], можно сказать, что длина и ширина хвои являются устойчивыми, т. е. постоянными признаками. Также экотипы при перенесении из естественных боров в новые условия сохраняют устойчивость, что указывает на приспособляемость вида.

Объекты и методы

Объектами научного исследования являются насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Произрастают в естественных борах Карачевского лесничества (Брянская область), Хреновского лесничества (Воронежская область), Арчединского лесничества (Волгоградская область) и в географических культурах Воронежского лесничества «Ступинское поле» (брянское, воронежское, волгоградское происхождение). На каждом объекте исследования природно-климатические показатели имеют различные значения (табл. 1). Изучены анатомо-морфологические особенности структуры листа *Pinus sylvestris* L. из естественных боров в различных лесорастительных условиях, а также в географических культурах Воронежской области, экотипы которых собраны из различных по широте мест. На каждом объекте научного исследования заложили пробные площади по 0,25 га, на которых отбирали модели по 10 экземпляров. Образцы двулетней хвои взяты с каждого выбранного модельного дерева.

Характеристика природно-климатических условий произрастания объектов исследования

№ п/п	Наименование показателя	Брянская область (Карачевское лесничество)	Воронежская область (Хреновское лесничество)	Волгоградская область (Арчединское лесничество)
1	Природно-климатическая зона	Зона широколиственных лесов	Зона южной лесостепи	Зона сухой степи
2	Среднегодовая температура, С ⁰	+ 4,5	+ 6,9	+ 6,9
3	Количество осадков в год, мм	750	486	200
4	ГТК	1,6 (избыточное увлажнение)	0,9	0,6
5	Вегетационный период, дней	185	200	206

(данные справочной литературы [9])

Хвоинки разрезали поперёк и среднюю часть поперечного разреза помещали в 90 % раствор этилового спирта (20 мл), окрашенного суданом III (0,1 г) с добавлением глицерина (10 мл) [10].

При изучении влияния климатогеографических факторов на анатомо-морфологическую структуру хвои измеряли следующие показатели: параметры хвои – длину, ширину и толщину; размеры эпидермы, гиподермы, складчатого мезофилла, количество смоляных ходов, диаметры клеток. Для исследования микроструктуры хвои использовали микроскоп «Биолам», настроенный на увеличение 20 × 8. Обработку полученных измерений производили при помощи статистической программы «Stadia».

Результаты и обсуждение

Важными признаками адаптивной способности, которые характеризуют степень приспособляемости, устойчивости и роста в новых условиях местопроизрастания, являются показатели структуры листа, а именно особенности его строения: толщина тканей, параметры клеток и др.

Результаты исследований свидетельствуют, что анатомо-морфологическая структура хвои сосны обыкновенной, взятой из Брянской области, в зоне широколиственных лесов, имеет более высокие показатели, нежели образцы из Воронежской и Волгоградской областей. Значения толщины хвои в Брянской области составляют 647,8 мкм в среднем,

а средние значения ширины хвои – 1380,0 мкм. Формированию крупных размеров хвои способствует более высокая степень влажности, которая наблюдается в Брянской области. Кроме того, климат области является относительно тёплым [9].

Покровные ткани листа в Брянской области характеризуются следующими показателями: толщина эпидермы в среднем – 18,6 мкм, а толщина гиподермы составляет 7,7 мкм. Мезофильная часть листа имеет толщину 169,4 мкм.

Смоляные каналы листа в зоне широколиственных лесов имеют округлую форму, размещены равномерно по всей границе мезофилла, прилегая к гиподерме одной стороной. Наибольшее число смоляных каналов наблюдается в хвое, взятой из Брянской области, – около 12 шт. (варьируется от 7 до 16 шт.), а средний диаметр каналов составляет 108,1 мкм.

С северо-запада на юго-восток происходит изменение природно-климатических условий, соответственно, меняются показатели климатогеографических факторов, влияющих на структуру растений. Показатели хвои, взятой из Воронежской области, имеют более низкие значения, а хвоя, собранная в Волгоградской области, отличается минимальными параметрами по сравнению с другими объектами.

Сравнительная характеристика анатомо-морфологических показателей хвои сосны обыкновенной

венной: толщина хвои, взятой из Хреновского бора Воронежской области, составила в среднем 537,7 мкм, а ширина – 1173 мкм. В сухой степи Волгоградской области эти показатели составили 520 мкм и 1112,0 мкм соответственно.

Толщина складчатого мезофилла в условиях южной лесостепи составила 152,2 мкм, а в сухой степи – 144,7 мкм.

Функцию защиты берут на себя покровные ткани, которые подвергаются изменениям вследствие смены природно-климатических условий. В аридной зоне покровные ткани утолщаются, о чём свидетельствует увеличение их параметров. Средние показатели толщины эпидермы (19,1 мкм) и толщины гиподермы (7,8 мкм) получены в условиях Воронежской области (южная лесостепь), а по направлению к сухой степи покровные ткани увеличиваются в размерах. Так, в условиях Волгоградской области эпидерма и гиподерма становятся толще (21,6 мкм и 8,6 мкм соответственно).

В Хреновском бору Воронежской области средний диаметр смоляных каналов листа составил 105,6 мкм, а в Волгоградской области – 90,8 мкм. Число смоляных каналов в условиях южной лесостепи составило 9,6 шт. (показатели колеблются от 6 до 12 шт. в среднем). В сухой степи этот показатель равен в среднем – 8,6 шт.

Подобные анатомо-морфологические исследования проведены и в географических культурах сосны обыкновенной, размещенных на территории Воронежского лесничества (центральная лесостепь). Эти географические культуры представляют собой семенное потомство представителей естественных боров из зоны широколиственных лесов, южной лесостепи и сухой степи. Показатели хвои географических культур не имеют таких резких различий, как показатели хвои естественных боров. Более того, их значения приближены к показателям местных экотипов, произрастающих в центральной лесостепи, однако незначительная разница есть, и она показывает ту же направленность изменений, что и в естественных борах.

Хвоя брянского происхождения имеет наибольшие параметры: толщина хвои – 526,54 мкм; ширина хвои – 1285,0 мкм; толщина эпидермы – 16,3 мкм; диаметр проводящих пучков – 102,5 мкм;

количество смоляных ходов в среднем – 10,2; диаметр смоляных ходов – 98,1 мкм. Показатели хвои волгоградского происхождения имеют наименьшие размеры по сравнению с размерами хвои на других объектах: толщина хвои – 432,5 мкм; ширина хвои – 1175,0 мкм; толщина эпидермы – 18,1 мкм; диаметр проводящих пучков – 116,8 мкм; количество смоляных ходов в среднем – 8,8; диаметр смоляных ходов – 85,1 мкм.

Хвоя воронежского происхождения характеризуется средними размерами: толщина хвои – 421,5 мкм; ширина хвои – 1210,0 мкм; толщина эпидермы – 17,6 мкм; диаметр проводящих пучков – 118,8 мкм; количество смоляных ходов в среднем – 7,2; диаметр смоляных ходов – 96,5 мкм.

На рис. 1-3 представлены микрофотографии поперечного среза листа сосны обыкновенной, произрастающей в различных лесорастительных условиях.

Влияние климатогеографических факторов на изменение структуры растений просматривается и на клеточном уровне. Это подтверждают полученные результаты диаметров клеток тканей листа. Происходит уменьшение размеров клеток эндодермы, трансфузионной ткани листа, складчатого мезофилла, трахеид проводящих пучков, волокон, окружающих смоляной ход в направлении с северо-запада на юго-восток.

Клетки складчатого мезофилла имеют наиболее крупные размеры (218, 3 мкм) в благоприятных условиях, т. е. в Брянской области, а в Волгоградской области, где влажности недостаточно, диаметр клеток мезофилла 139,1 мкм. Промежуточные значения имеют клетки мезофилла в Воронежской области – 212 мкм.

Структура ткани складчатого мезофилла подвергается изменениям в аридных условиях. Так, в сухой степи ткань мезофилла расположена с обеих сторон листа и имеет мелкоклеточное строение.

Размеры клеток эндодермы уменьшаются со среднего значения 33,1 мкм в зоне широколиственных лесов до 28,9 мкм в сухой степи. Также живые и мёртвые клетки трансфузионной ткани имеют тенденцию к уменьшению размеров при переносе в неблагоприятные условия. Волокна, окружающие

смоляной ход, в зоне широколиственных лесов имеют показатель 27,7 мкм в среднем, в южной лесостепи – 25,8 мкм, а в сухой степи – 24,3 мкм. В засушливых условиях клетки, составляющие волокна, окружающие смоляные ходы, плотно прижаты друг к другу и имеют округлую форму.

В географических культурах клеточное строение листа сосны обыкновенной брянского, волгоградского и воронежского происхождения интерполируется до параметров местных экотипов. Такое проявление структурного перестроения клеток листа свидетельствует об адаптационной способности вида, а именно о пластичности при изменении климата. Однако в параметрах анатомической структуры клеток листа сосны обыкновенной различного происхождения прослеживаются некоторые отличия, которые отражают ту же закономерность, что и в естественных борах.

Выводы

1. Хвоя сосны обыкновенной, произрастающей в различных климатогеографических условиях, обладает разными внешними признаками и анатомо-морфологическими показателями, что свидетельствует о приспособительной реакции вида к изменению условий произрастания.

2. В естественных борах зоны широколиственных лесов размеры листа более крупные: хвоя длиннее и шире, она плотная на ощупь, более жесткая и упругая, а в зоне сухой степи параметры листа заметно уменьшаются и хвоя более тонкая, короткая, узкая.

3. Значения анатомических показателей листа сосны обыкновенной отличаются количественно большими значениями в условиях достаточного увлажнения по сравнению с показателями засушливых местообитаний. В зоне широколиственных лесов толщина складчатого мезофилла и диаметр смоляных ходов имеют самые крупные параметры, в то время как при переходе в сухую

степь значения этих показателей уменьшаются. Также в засушливых условиях наблюдается уменьшение числа смоляных ходов. Однако диаметр проводящих пучков в сухой степи несколько увеличивается.

4. Уменьшение размеров ассимиляционных тканей в сухой степи играет существенную роль при адаптации вида к суровым условиям произрастания. Структурные изменения касаются и других органов листа. Например, в засушливых условиях происходит незначительное увеличение диаметра проводящих пучков. Это также имеет большое значение для хорошего роста сосны обыкновенной и обеспечения устойчивости насаждений.

5. Самый важный аспект, указывающий на приспособляемость растения к аридным условиям, – увеличение толщины покровных тканей листа. Толщина эпидермы и гиподермы имеет более высокие показатели в сухих экстремальных для растений условиях среды, что способствует их адаптации.

6. Отмечено уменьшение параметров клеточной структуры листа сосны обыкновенной: в неблагоприятных условиях среды ткани имеют более мелкоклеточное строение.

7. Изучены образцы хвои брянского, воронежского, волгоградского экотипов сосны обыкновенной, взятые в географических культурах центральной лесостепи. Представители вида имеют параметры, близкие по своим показателям к местным, т.е. структура листа перестраивается. Однако отмечены некоторые различия, которые имеют ту же закономерность, что показатели хвои сосны, взятой из естественных боров. Этот факт свидетельствует о закреплении признаков и параметров в генотипе, что играет важную роль в адаптации растений.

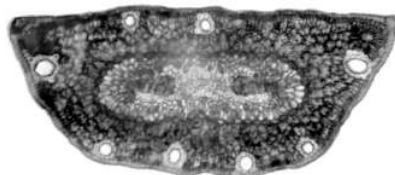
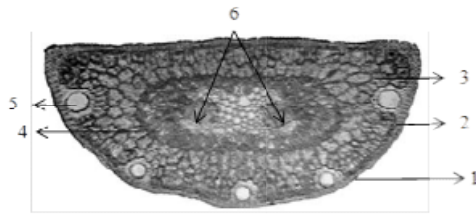


Рис. 1. Поперечный срез хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях зоны широколиственных лесов (микрофотография автора)



- 1 – эпидерма,
- 2 – гиподерма,
- 3 – складчатый мезофилл,
- 4 – эндодерма,
- 5 – смоляной канал,
- 6 – проводящие пучки.

Рис. 2. Поперечный срез хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях южной лесостепи
(микрофотография автора)

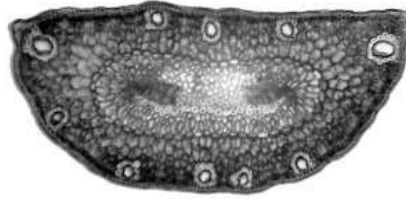


Рис. 3. Поперечный срез хвои *Pinus sylvestris* L. в условиях сухой степи
(микрофотография автора)

Библиографический список

1. Исследование физиолого-биохимических показателей хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) болотных и лесных популяций / С. А. Войцекская, Э. Р. Юмагулова, Е. Н. Сурнина, Т. П. Астафурова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 3 (23). – С. 111–119. – Библиогр.: с. 117–118 (16 назв.).
2. Галдина, Т. Е. Исследование особенности роста географических культур сосны обыкновенной в условиях Центральной лесостепи / Т. Е. Галдина, М. М. Романова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 127 (03). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf/> (дата обращения: 22.05.2020).
3. Егорова, Н. Н. Изменчивость признаков анатомического строения ассимиляционного аппарата и проводящих корней сосны обыкновенной в экстремальных лесорастительных условиях / Н. Н. Егорова, А. А. Кулагин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6 (50). – С. 52–54. – Библиогр.: с. 54 (8 назв.).
4. Зверева, Г. К. Структурная организация мезофилла хвои у видов рода *Pinus* (Pinaceae) / Г. К. Зверева // Ботанический журнал. – 2014. – Т. 99, № 10. – С. 1101–1109. – Библиогр.: с. 1109 (13 назв.).
5. Июзус, А. П. Морфологические и анатомические особенности хвои сосны обыкновенной разного географического происхождения в географических культурах Волгоградской области / А. П. Июзус, Е. В. Морозова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20526> (дата обращения: 22.05.2020).
6. Кулагин, А. А. Анатомические особенности листового аппарата древесных лесообразующих видов в экстремальных лесорастительных условиях на территории республики Башкортостан / А. А. Кулагин, Н. Н. Егорова, И. Ф. Бакиев // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2012. – № 1. – С. 10–14. – Библиогр.: с. 14 (14 назв.).
7. Неверова, О. А. Изменение анатомических показателей хвои *Pinus eldarica* Ten., произрастающей в примагистральных посадках г. Худжанда / О. А. Неверова, О. М. Легощина, Р. С. Зокиров // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=6676> (дата обращения: 22.05.2020).

8. Сосна степных и лесостепных боров Сибири : моногр. / Л. И. Милютин, Т. Н. Новикова, В. В. Тараканов, И. В. Тихонова ; Академическое изд-во «Гео». – Новосибирск, 2013. – 127 с. – Библиогр.: с. 105–125. – ISBN 978-5-906284-16-7.
9. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации : учеб.-практ. пособие / А. Г. Черненко [и др.] ; под ред. С. И. Носова ; ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ, ФГУП «Ростехинвентаризация – Федеральное БТИ», НП «Саморегулируемая организация ассоциации российских магистров оценки» (НП СРО АРМО). – Москва, 2010. – 198, [1] с. – ISBN 978-5-903271-47-4.
10. Фурст, Г. Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей / Г. Г. Фурст. – Москва : Наука, 1979. – 155 с. – Библиогр.: с. 141–143.
11. Elkhartbotly, A. A. Acta Ecologica Sinica. Studies on some anatomical features of selected plant species grown in sand dune areas of North Sinai, Egypt / A. A. Elkhartbotly // Acta Ecologica Sinica. – 2016. – Vol. 36, Iss. 4. – P. 246–251. – DOI: 10.1016/j.chnaes.2016.03.004.
12. Mechanisms of a coniferous woodland persistence under drought and heat / N. G McDowell, C. Grossiord, H. D Adams [et al.] // Environmental Research Letters. – 2019. – Vol. 14, No. 04. – P. 045014. – <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0921>.
13. Tyukavina, O. Dendroclimatic investigations of *Pinus sylvestris* L. in the subArctic boreal forests / O. Tyukavina, V. Golub, O. Yunitsyna // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 263. – P. 012023. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/263/1/012023>.
14. Delayed Fluorescence from *Pinus Sylvestris* Leaves as an Indicator of Urban Environmental Quality / G. R. Valeeva, M. V. Karpov, Z. M. Khafizova, V. A. Gabdrakhimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272. – P. 022241. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022241>.

References

1. Voytsekovskaya S.A., Yumagulova E.R., Surnina E.N., Astafurova T.P. (2013) *Issledovaniye fiziologo-biokhicheskikh pokazateley khvoi sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) bolotnykh i lesnykh populyatsiy* [Study of physiological and biochemical parameters of pine needles (*Pinus sylvestris* L.) of marsh and forest populations]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], No. 3 (23), pp. 111-119 (in Russian).
2. Galdina T.E., Romanova M.M. (2017) *Issledovaniye osobennosti rosta geograficheskikh kultur sosny obyknovnoy v usloviyakh Tsentralnoy lesostepi* [Research of the growth characteristics of geographical cultures of *Pinus sylvestris* L. in the Central forest-steppe]. *Politematicheskii setevoj elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University], No. 127. URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/03/pdf> (in Russian).
3. Egorova N.N., Kulagin A.A. (2014) *Izmenchivost priznakov anatomicheskogo stroyeniya assilyatsionnogo apparata i pro-vodyashchikh korney sosny obyknovnoy v ekstremalnykh lesorastitelnykh usloviyakh* [The variability of the characteristics of the anatomical structure of the assimilation apparatus and the driving roots of *Pinus sylvestris* L. in extreme forest conditions]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg state agrarian university], No. 6 (50), pp. 52-54 (in Russian).
4. Zvereva G.K. (2014) *Strukturnaya organizatsiya mezofilla hvoi u vidov roda Pinus (Pinaceae)* [Structural organization of mesophyll needles in species of the genus *Pinus* (Pinaceae)]. *Botanicheskij zhurnal* [Botanical magazine], Vol. 99, no. 10, pp. 1101-1109 (in Russian).
5. Iozus A.P., Morozova E.V. (2015) *Morfologicheskie i anatomicheskie osobennosti hvoi sosny obyknovnoy raznogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v geograficheskikh kul'turah Volgogradskoj oblasti* [Morphological and anatomical features of pine needles of different geographical origin in geographical cultures of the Volgograd region]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], No. 4, URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=20526> (in Russian).

6. Kulagin A.A., Egorova N.N., Bakiev I.F. (2012) *Anatomicheskie osobennosti listovogo apparata drevesnykh lesoobrazuyushchikh vidov v ekstremal'nykh lesorastitel'nykh usloviyakh na territorii respubliki Bashkortostan* [Anatomical features of the leaf apparatus of woody forest-forming species in extreme forest-growing conditions on the territory of the Republic of Bashkortostan]. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Ufa scientific center of the Russian Academy of Sciences], No. 1, pp. 10-14 (in Russian).

7. Neverova O.A., Legoshchina O.M., Zokirov R.S. (2012) *Izmenenie anatomicheskikh pokazatelej hvoi Pinus eldarica Ten., proizrastayushchej v primagistral'nykh posadkakh g. Hudzhanda* [Changes in the anatomical parameters of *Pinus eldarica* Ten. needles grown near trunk road landings of Khujand]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], No. 4, URL: <http://science-education.ru/article/view?id=6676> (in Russian).

8. Milyutin L.I., Novikova T.N., Tarakanov V.V., Tihonova I.V. *Sosna stepnykh i lesostepnykh borov Sibiri* [Pine of steppe and forest-steppe forests of Siberia]. Novosibirsk: The Academic Publishing House «GEO», 2013, 127 p. (in Russian).

9. *Spravochnik agroklimaticheskogo ocenochного zonirovaniya sub'jektov Rossijskoj Federacii: uchebno-prakticheskoe posobie* [Reference agroclimatic zoning assessment of constituent entities of the Russian Federation] *Chernenkov A.G. i dr.; pod red. S.I. Nosova* [Chernenkov A.G. et al.; ed. by Nosov S.I.], Moscow, 2010. 198, [1] p. (in Russian).

10. Furst G.G. *Metody anatomo-gistokhimicheskogo issledovaniya rastitelnykh tkaney* [Methods of anatomical and histochemical research of plant tissues]. Moscow: Nauka, 1979, 155 p. (in Russian).

11. Elkharbotly A.A. (2016) Studies on some anatomical features of selected plant species grown in sand dune areas of North Sinai, Egypt. *Acta Ecologica Sinica*, 2016. Vol. 36, Iss. 4, pp. 246-251. DOI: 10.1016/j.chnaes.2016.03.004.

12. McDowell N.G., Grossiord C., Adams H.D. (et al.) (2019) Mechanisms of a coniferous woodland persistence under drought and heat. *Environmental Research Letters*, 2019. Vol. 14, N. 04, p. 045014. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0921>.

13. Tyukavina O., Golub V., Yunitsyna O. (2019) Dendroclimatic investigations of *Pinus sylvestris* L. in the subArctic boreal forests. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 263, p. 012023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/263/1/012023>.

14. Valeeva G.R., Karpov M.V., Khafizova Z.M., Gabdrakhimova V.A. (2019) Delayed Fluorescence from *Pinus Silvestris* Leaves as an Indicator of Urban Environmental Quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 272, p. 022241. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022241>.

Сведения об авторах

Галдина Татьяна Евгеньевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: invitro11@bk.

Хазова Екатерина Петровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: hazovaep@gmail.com.

Information about authors

Galdina Tatyana Evgenyevna – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Forest Crops, Breeding and Land Reclamation, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: invitro11@bk.

Khazova Ekaterina Petrovna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: hazovaep@gmail.com.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛЕЗАЩИТНОЙ ЛЕСОПОЛОСЫ НА ОТЛОЖЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УНПАК ЛНАУ «КОЛОС»

кандидат биологических наук, доцент **О.В. Грибачева**¹
доктор сельскохозяйственных наук, профессор **А.И. Чернодубов**²
магистрант **Д.В. Сотников**¹

1 – Государственное образовательное учреждение Луганской Народной Республики «Луганский национальный аграрный университет», г. Луганск, Луганская Народная Республика

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

Авторами в данной статье проведен обзор и анализ работ, рассматривающих особенности распределения снежного покрова под влиянием полезащитных полос. Цель работы – изучение влияния полезащитных лесных полос на накопление снега в зависимости от климатических условий города Луганска. Исследования проводили в городе Луганске, на базе учебно-производственного аграрного комплекса «Колос» Луганского национального аграрного университета (УНПАК ЛНАУ «Колос»). Объект исследования – полезащитные лесные полосы ажурно-продуваемой конструкции. Для измерения массы снежного покрова использовали снегомер ВС-43. Высоту снежного покрова измеряли переносной снегомерной рейкой М-104. Авторами выявлено, что средняя высота снежного покрова на наветренной стороне полезащитной полосы составляет от 6,00 до 10,25 см и вес пробы от 33,50 до 68,75 г. Полученные данные свидетельствуют о том, что на подветренной стороне полезащитной полосы накапливается больше снега, чем на наветренной стороне. Минимальная высота снежного покрова на наветренной стороне составляет 3 см, а максимальная – 9 см, тогда как минимальная высота снежного покрова на подветренной стороне составляет 10 см, а максимальная – 17 см. Особое внимание в работе авторы акцентируют на том, что в результате выпадения ясеня обыкновенного из полосы наблюдается тенденция превращения полосы из ажурно-продуваемой в продуваемую, когда высота снежного покрова редко превышает 1 м и происходит выдувание снега из-под полога лесополосы.

Ключевые слова: снежный покров, полезащитная лесополоса, запас воды, влагонакопление

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF A PROTECTIVE FOREST BELT ON SNOW DEPOSITION IN UNPAK LNAU "KOLOS"

PhD (Biology), Associate Professor **O.V. Gribacheva**¹
DSc (Agriculture), Professor **A.I. Chernodubov**²
Master's degree student **D.V. Sotnikov**¹

1 – State Educational Institution of the Lugansk People's Republic "Lugansk National Agrarian University", Lugansk, Lugansk People's Republic

2 – FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation

Abstract

The authors in this article reviewed and analyzed works that consider the features of the distribution of snow cover under the influence of field protection belts. The aim of the work is to study the influence of forest shelter belts on snow accumulation depending on the climatic conditions of the city of Lugansk. The research was carried out in

the city of Lugansk, on the basis of the educational and production agricultural complex "Kolos" of the Lugansk national agrarian university (UNPAK LNAU "Kolos"). The object of research is forest shelter belts of openwork-blown structure. A VS-43 snow meter was used to measure the mass of the snow cover. The depth of the snow cover was measured with a portable snow gauge M-104. The density of the snow mass and the water reserve in the sample were calculated mathematically. The authors found that the average height of snow cover on the windward side of the shelter belt is from 6.00 to 10.25 cm and the sample weight is from 33.50 to 68.75 grams. The data obtained indicate that more snow accumulates on the leeward side of the field protection strip than on the windward side. The minimum height of the snow cover on the windward side is 3 cm, and the maximum is 9 cm. Whereas the minimum height of the snow cover on the leeward side is 10 cm, and the maximum is 17 cm. The authors emphasize that as a result falling out of common ash from the strip, there is a tendency of transformation of the strip from openwork-blown to blown, when the height of the snow cover rarely exceeds 1 m and snow is blown out from under the canopy of the forest belt.

Keywords: snow cover, protective forest belt, water supply, moisture accumulation

Введение

Одним из многих факторов стабилизации продуктивности сельскохозяйственных угодий в степной зоне является полезащитное лесоразведение. Лесные полосы играют очень важную роль в защите посевов от сильных ветров, суховеев, эрозии и т.д. [1, 10].

Известно, что для предохранения почвы от промерзания достаточно снежного слоя до 30-50 см., т.е. если удастся накопить указанное количество снега в лесополосе, а остальное распределить по полю, то почва будет защищена от промерзания [2, 11]. Деревьям в лесополосах, особенно в степной зоне, для нормального роста и развития растения требуется дополнительная влага. Поэтому при создании лесополос определенной конструкции необходимо учитывать их способность к распределению снежных масс внутри лесополосы и за её пределами с целью оптимизации снежного отложения на водосборе [12].

Агроэкологическую роль полезащитных лесных полос изучали как учёные России, так и за рубежом на протяжении многих лет, ещё начиная с 1892 г., когда под руководством В.В. Докучаева была организована «Особая экспедиция ...» [5, 7, 14-17]. В Луганской области и на территории теперешней Луганской Народной Республики исследованиями лесополос занимались на протяжении 1970-1980 гг. лесомелиораторы бывшей Луганской агролесомелиоративной опытной станции. Однако впервые с тех пор произведена агролесомелиора-

тивная оценка современного состояния агроландшафтов республики.

Цель работы – изучение влияния полезащитных лесных полос на накопление снега в зависимости от климатических условий города Луганска.

Материалы и методы

Город Луганск является административным центром Луганской Народной Республики. Луганская Народная Республика находится по обе стороны среднего течения реки Северский Донец. На севере, востоке граничит с Белгородской, Воронежской и Ростовской областями России. На юго-западе к землям Луганщины примыкает Донецкая Народная Республика, а на северо-западе – Харьковская область Украины. Республика находится в зоне разнотравно-типчаково-ковыльных степей. Растительность в результате деятельности человека подверглась большим изменениям. Большая часть территории республики распахана, лишь по склонам оврагов, в речных долинах и в заповедниках сохранились участки степной растительности. Леса расположены преимущественно вдоль рек, на склонах речных долин, балок и оврагов. Данная географическая зона характеризуется засушливым климатом, частыми суховеями, пыльными бурями с жарким летом и морозными малоснежными зимами.

Исследования проводили в городе Луганске, на базе учебно-производственного аграрного комплекса «Колос» Луганского национального аграрного университета (УНПАК ЛНАУ «Колос»).

УНПАК ЛНАУ «Колос» находится в 7 км к западу от областного центра – г. Луганска, в 5 км от железнодорожной станции Луганск (техникум), в 3 км от товарной станции (рис. 1).

Исследования проводились в период с 2019 по 2020 год на полях УНПАК ЛНАУ «Колос». Объект исследования – полезащитные лесные полосы ажурно-продуваемой конструкции. Древесный ярус представлен ясенем обыкновенным (*Fraxinus excelsior* L.) и клёном татарским (*Acer*

tataricum L.). В кустарниковом ярусе произрастает жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), шиповник собачий (*Rosa canina* L.). Длина полезащитной лесополосы составляет 1225 метров, а ширина её вместе с закрайками (1,5 метра) – 16 метров. Полезащитная лесополоса состоит из пяти рядов, расстояние между рядами в среднем 2,5 метра, а в ряду – 1,5 метра между деревьями.

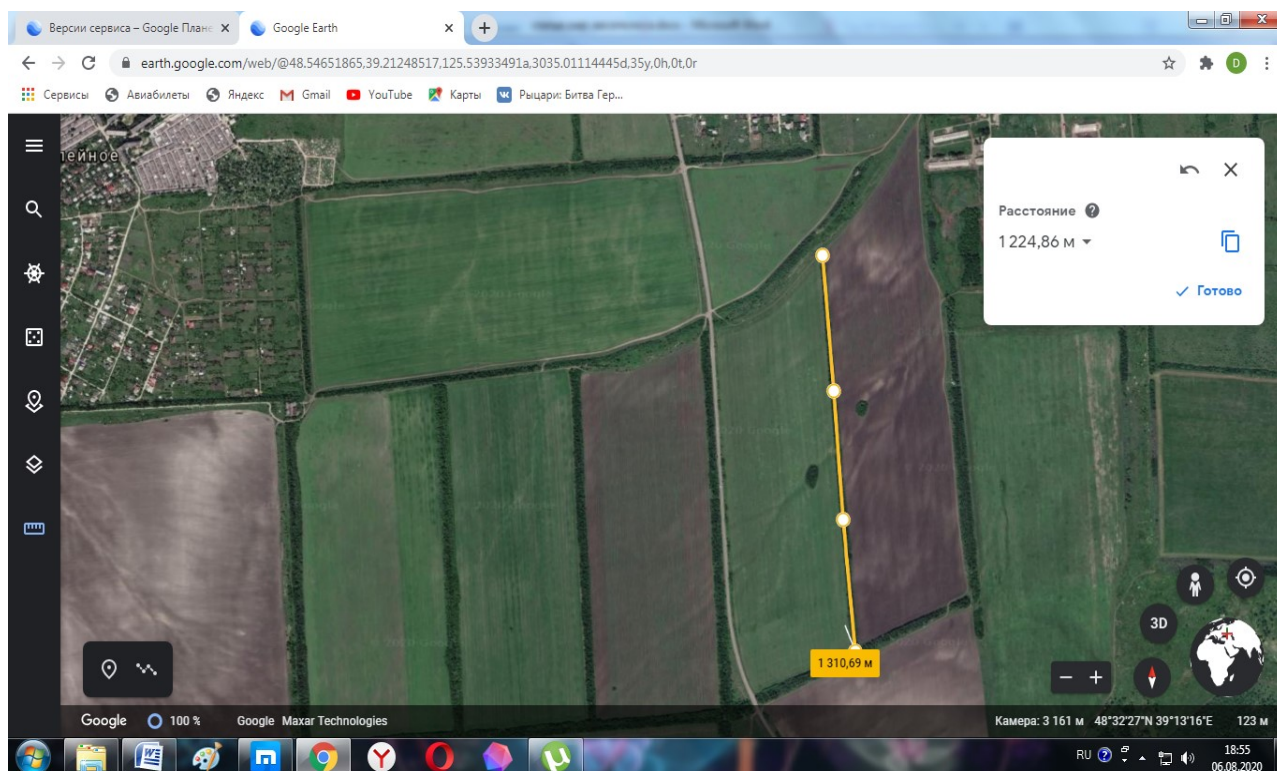


Рис. 1. Аэроданные исследуемого участка, на котором проводились наблюдения (УНПАК ЛНАУ «Колос»)

Рядом с лесополосой на поле, с её наветренной и подветренной стороны, была заложена пробная площадь размером 10 м². На этой площади были взяты три пробы на расстоянии 50, 100, 150 метров в линейном направлении и в четырехкратной повторности. На расстоянии 500 метров от лесополосы была заложена контрольная пробная площадь, которая не попадала под влияние лесополосы (контроль). Урожайность сельскохозяйственных культур учитывали путём взвешивания сплошного об-

молота всех растений в фазу полной спелости зерна и последующего взвешивания урожая. Для измерения массы снежного покрова использовали снегомер ВС-43 [3]. Высоту снежного покрова измеряли переносной снегомерной рейкой М-104. Плотность снежной массы и запас воды в пробе рассчитывали математическим способом. Для построения профиля снежного покрова в лесополосе проводились измерения высоты снежного покрова по прямой линии через ветрозащитную полосу на протяжении

50 метров [4, 8]. Кроме того, профиль снежного покрова измеряли через каждые 2 метра вдоль лесополосы. Температуру снежного покрова и температуру воздуха измеряли срочным термометром ТМ-3 [6].

Описание постоянной пробной площади производили по общепринятым лесоводственным и геоботаническим методикам [9]. На этой площади выявлялись видовое разнообразие и густота древостоя, неоднократно производился переучёт древостоя, учитывался состав насаждения. Диаметр деревьев измеряли стандартной мерной вилкой, если развилка находилась выше 1,3 м, то это один ствол, а если ниже, то два ствола. Для определения среднего диаметра деревьев в учёт брали деревья с диаметром ствола более 4 см. Высоту ствола измеряли оптическим высотомером Suunto Clinometer PM5/360. Площадь поперечного сечения дерева каждой ступени высчитывали по диаметру на высоте груди 1,3 м через сортиментные таблицы. Густоту древостоя высчитывали по формулам через среднее расстояние между деревьями и количество учётных деревьев [13]. Графики зависимости таксационных показателей деревьев строились с применением стандартной программы Statistica.

Результаты и обсуждение

Состояние древостоя полезащитной лесополосы можно охарактеризовать в целом как удовлетворительное. Древостой на пробной площади очень густой. Число деревьев на 1 га составляет 2439 шт./га. Диаметр деревьев ясеня обыкновенного изменяется от 5 до 40 см. Общая площадь поперечного сечения древостоя ясеня обыкновенного составляет 8179,9 м², а средний диаметр – 9 см. Исходя из таксационного среднего диаметра стволов деревьев на пробной площади по графику высот была рассчитана средняя высота древостоя каждой древесной породы. Так, у ясеня обыкновенного средняя высота древостоя составляет 5,8 метра (рис. 2). Диаметр деревьев клёна татарского на пробной площади колеблется от 4 до 23 см. Общая площадь поперечного сечения древостоя клёна татарского составляет 1853,7 м², а средний диаметр – 6,8. Средняя высота древостоя – 3,4 метра (рис. 3).

Системы лесных полос всех конструкций в целом оказывают положительное влияние на снегораспределение, так как в открытой местности снег сдувается в микропонижения и гидрографическую сеть, перемещаясь на расстояние до 2-3 км от места выпадения. При наличии системы лесных полос весь снег остается в границах полей севооборота и лесных полос.

Исследования показывают, что наибольшее количество снега остаётся у наветренной стороны лесополосы. Данные измерения высоты плотности снежного покрова приведены в табл. 1. Средняя высота снежного покрова на наветренной стороне полезащитной полосы составляет от 6,00 до 10,25 см и вес пробы – от 33,50 до 68,75 г, а на подветренной стороне высота снежного покрова – от 10,25 до 16,00 см и вес пробы – от 76,75 до 77,75 г. Полученные данные свидетельствуют о том, что на подветренной стороне полезащитной полосы накапливается больше снега, чем на наветренной стороне. Это связано с тем, что в зимний период преобладающее направление ветров в Луганской Народной Республики восточное или юго-восточное. В период исследования (январь-февраль 2020 г.) направление ветра было западно-восточное.

Были проведены измерения температуры снега у поверхности почвы и на поверхности снега в лесополосе на исследуемом участке. Температура на поверхности снега составляла –3 °С, а у поверхности почвы 0 °С при температуре воздуха на момент исследования днём –7 °С, а ночью –11 °С (табл. 2).

Плотность выпавшего снега оказывает влияние на влагообеспеченность данной территории. Исследования показывают, что на наветренной стороне средний запас воды в трёх пробах составляет 599,00 т/га, а на подветренной стороне – 758,75 т/га (табл. 3). В контроле на открытом участке (пар) средний запас воды составляет 628,5 т/га, а в контроле на подветренной стороне (озимая пшеница) – 768,70 т/га.

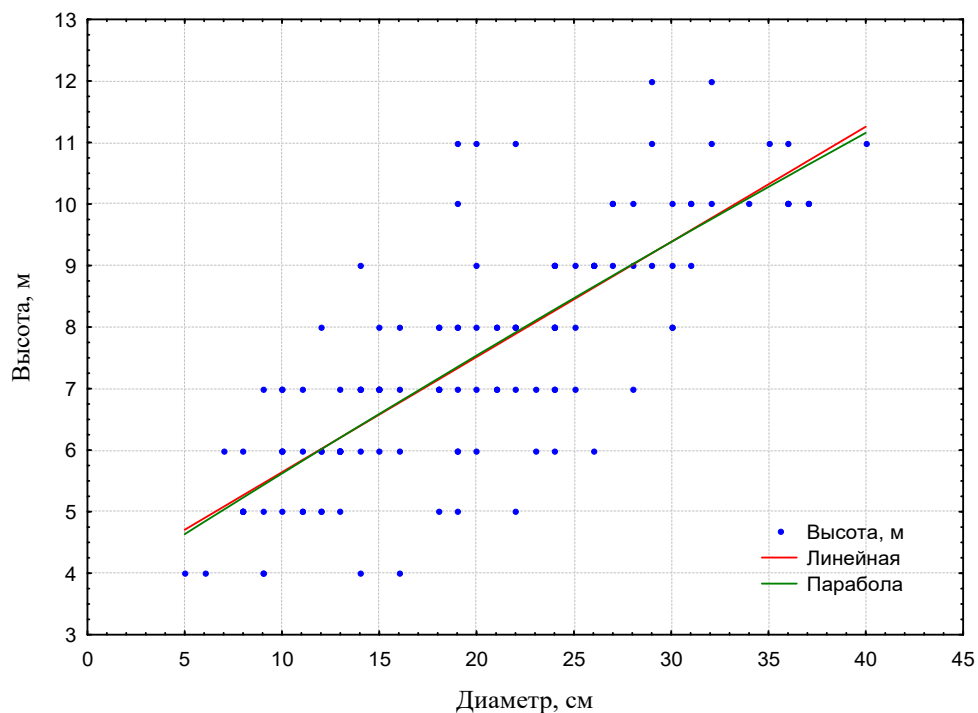


Рис. 2. График зависимости диаметра от высоты (древесная порода – ясень обыкновенный)

Источник: собственные вычисления

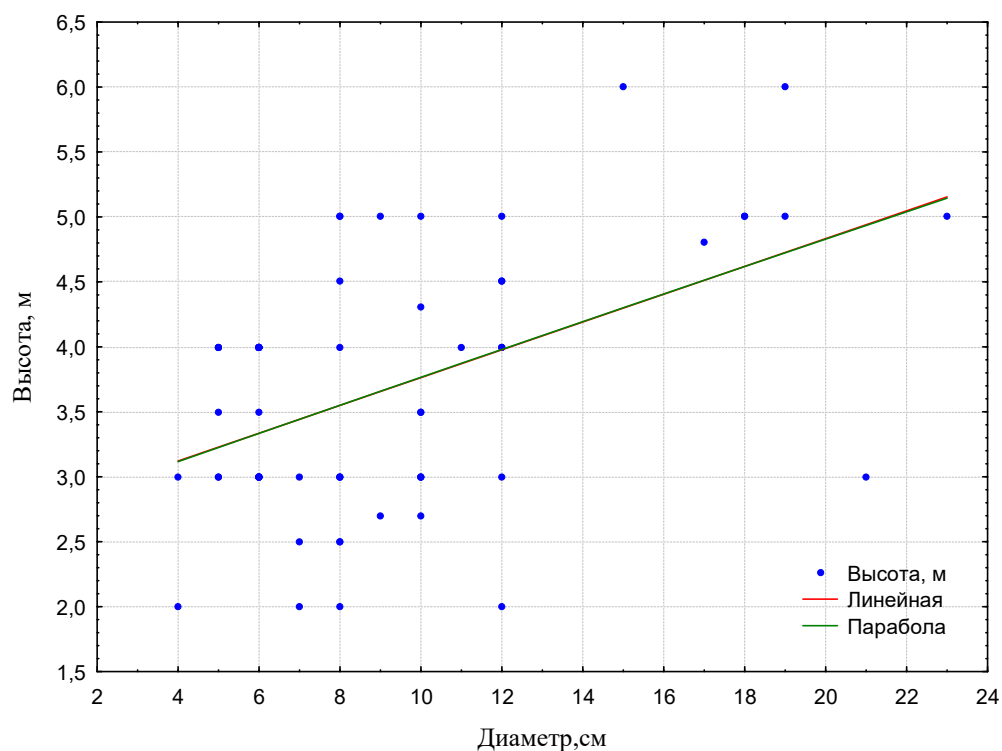


Рис. 3. График зависимости диаметра от высоты (древесная порода – клён татарский)

Источник: собственные вычисления

Природопользование

Таблица 1

Средняя высота, вес, плотность снега в лесополосе УНПАК ЛНАУ «Колос»

№ пробы	Расстояние от лесополосы, м	Средняя высота снежного покрова, см	Средний вес пробы, г	Средняя плотность пробы снега, (г/см ³)
1	2	3	4	5
Наветренная сторона				
Контроль (участок открытого поля)				
	500	6,50	37,75	0,58
Пробы				
1	50	6,00	33,50	0,56
2	100	13,00	78,25	0,60
3	150	10,50	68,75	0,65
Подветренная сторона				
Контроль (участок озимая пшеница)				
	500	15,75	74,75	0,47
Пробы				
1	50	10,25	76,75	0,75
2	100	15,00	78,25	0,51
3	150	16,00	77,75	0,48

Источник: собственные вычисления

Таблица 2

Температуры снега в лесополосе УНПАК ЛНАУ «Колос»

№ измерения	Глубина измерения, см	Показатель термометра, (°С)
1	На поверхности снега	-3
2	У поверхности почвы	0

Источник: собственные вычисления

Таблица 3

Запас воды в снежном покрове в лесополосе УНПАК ЛНАУ «Колос»

Расстояние от лесополосы	Запасы воды в пробе, мм	Запас воды, т/га	Средний запас воды, т/га
Наветренная сторона			
Контроль (открытый участок – пар)			
500	68,25	682,5	682,50
Пробы			
50	37,70	377,00	599,00
100	33,60	366,00	
150	78,00	780,00	
Подветренная сторона			
Контроль (занятый участок – озимая пшеница)			
500	76,87	768,70	768,70
Пробы			
50	76,50	765,00	758,73
100	76,80	768,00	
150	74,02	740,20	

Источник: собственные вычисления

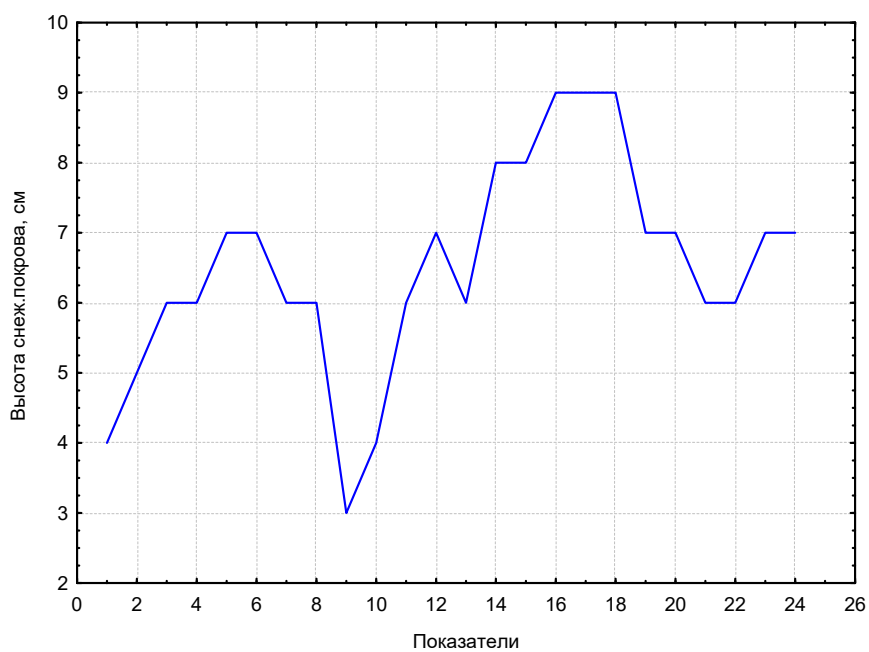


Рис. 4. Профиль снежного покрова изучаемой лесополосы (наветренная сторона – пар)

Источник: собственные вычисления

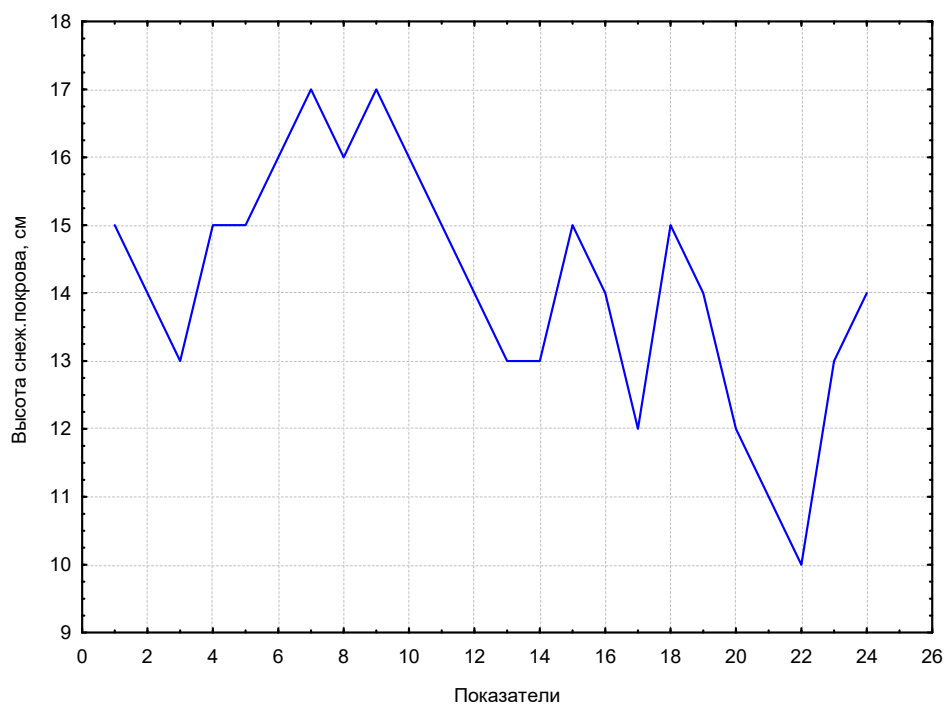


Рис. 5. Профиль снежного покрова лесополосы (подветренная сторона – озимая пшеница)

Источник: собственные вычисления

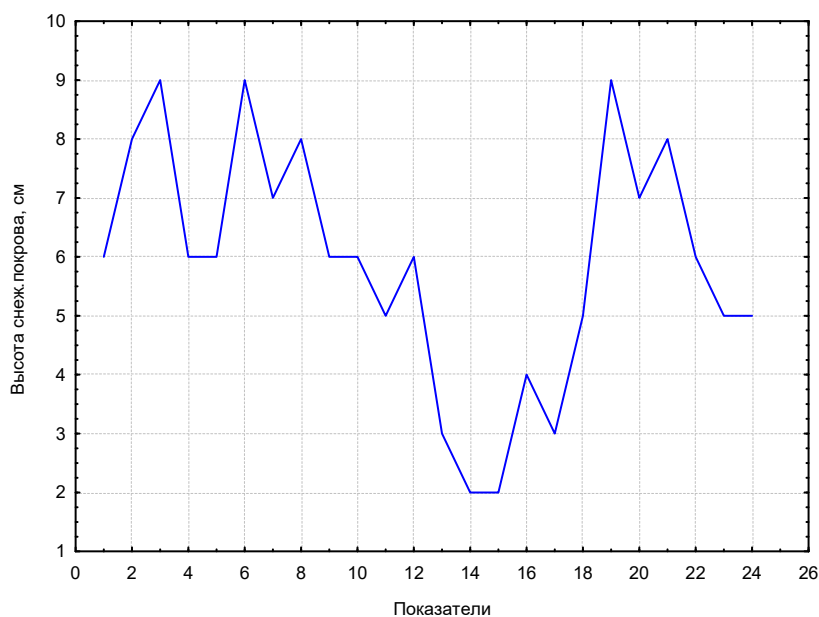


Рис. 6. Профиль снежного покрова лесополосы (шлейф внутри лесополосы)

Источник: собственные вычисления

Запас воды в пробах снега в контроле и на расстоянии 50 и 100 м от лесополосы больше на подветренной стороне, чем на наветренной, так как снег с наветренной стороны переносится на подветренную, а на наветренной уплотняется. Тогда как на расстоянии 150 м от лесополосы запас воды больше в пробах снега на наветренной стороне (780,00 т/га), чем на подветренной стороне (740,20 т/га).

Лесные полосы, как установлено многочисленными исследованиями в различных районах республики, являются одним из наиболее мощных и долговременных средств задержания снега. Под действием ветра происходит перераспределение снега внутри межполосного пространства. Наибольшей толщины снеговой покров достигает на опушках лесных полос или на некотором удалении от них, где происходит максимальное снижение скорости ветра. При продвижении от полос в сторону поля вместе с возрастанием скорости ветра уменьшается толщина снегового покрова, достигая в конце зоны их влияния минимальной величины. Основываясь на полученных данных по измерению снежного покрова, были построены графики снежного покрова в лесополосе УНПАК ЛНАУ «Колос», которые представлены на рис. 4, 5, 6.

Исходя из данных графиков, минимальная высота снежного покрова на наветренной стороне составляет 3 см, а максимальная – 9 см, тогда как минимальная высота снежного покрова на подветренной стороне составляет 10 см, а максимальная – 17 см (рис. 5).

Это объясняется тем, что при ажурно-продуваемой конструкции лесополосы наибольшая высота снега наблюдается ближе к той её части, где скорость ветра минимальная. В наших исследованиях скорость ветра минимальная на подветренной стороне ближе к самой лесополосе. На профиле снежного покрова внутри лесополосы максимальная высота снежного покрова составляет 9 см, а минимальная – 3 см (рис. 6). Данные максимума и минимума высоты снежного покрова такие же, как на наветренной стороне, но с более резкими перепадами в высотах.

Длина снежного шлейфа внутри лесополосы составила всего лишь 60 см. Небольшая длина снежного шлейфа объясняется тем, что зима в 2020 г. была малоснежной и суммарное количество осадков за зимний период не превышало 100,2 мм. Изучаемая лесополоса, несмотря на её удовлетворительное состояние, продолжает накапливать снежные массы и равномерно распределять их на

прилегающей территории. В результате выпадения ясеня обыкновенного из полосы наблюдается тенденция превращения полосы из ажурно-продуваемой в продуваемую, когда высота снежного покрова редко превышает 1 м и происходит выдувание снега из-под полога лесополосы. Как известно, клён татарский является деревом третьей величины или в некоторых случаях кустарником, поэтому в нашем случае при дальнейшем усыхании ясеня обыкновенного полезащитная полоса не будет оказывать существенного влияния на характер распределения снега на прилегающей территории.

На первом контрольном поле с наветренной стороны лесополосы урожайность озимой пшеницы составила 23 ц/га, а на аналогичном втором контрольном поле с подветренной стороны – 28 ц/га. На подветренной стороне лесополосы снег распределяется равномерно по всему полю, поэтому урожайность на втором контрольном поле на 5 ц выше, чем на первом.

Выводы

В результате обследования полезащитной лесополосы УНПАК ЛНАУ «Колос» установлено,

что исследуемая лесополоса ажурно-продуваемой конструкции. Древостой ясеня обыкновенного и клёна татарского на пробной площади очень густой. Средняя высота ясеня обыкновенного составила 5,8 м, а клёна татарского – 3,4 м. Жизненное состояние указанных древесных пород удовлетворительное. Средняя высота снежного покрова на наветренной стороне полезащитной полосы составляет от 6,00 до 10,25 см и вес пробы от 33,50 до 68,75 г, а на подветренной стороне высота снежного покрова от 10,25 до 16,00 см и вес пробы – от 76,75 до 77,75 г. Это свидетельствует о том, что на подветренной стороне полезащитной полосы накапливается больше снега, чем на наветренной стороне. Таким образом, данная полезащитная лесополоса выполняет свою первоначальную функцию по снегонакоплению и ветрозащите. В то же время проведенные нами исследования в данной лесополосе УНПАК ЛНАУ «Колос» позволяют выявить отрицательные тенденции по накоплению снежного покрова и равномерному распределению снежных масс на прилегающей территории.

Библиографический список

1. Вельмовский, П. В. Ландшафтные критерии степной мелиорации / П. В. Вельмовский, С. В. Левыкин, И. Г. Яковлев // Известия Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 1 (57). – С. 10–12. – ISSN: 2073-0853.
2. Дюнин, А. К. Механика метелей (вопросы теории проектирования снегорегулирующих средств) / А. К. Дюнин. – Новосибирск : Издательство СОАН СССА, 1963. – 378 с.
3. Лосев, А. Ф. Агрометеорология / А. Ф. Лосев, Л. А. Журина. – Москва : Колос, 2001. – 299 с. – ISBN 5-10-003603-6.
4. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. – Москва : ВАСХНИЛ, 1985. – 112 с.
5. Михин, В. И. Роль полезащитных насаждений в преобразовании ландшафтов Центрального Черноземья / В. И. Михин, Е. А. Михина, Д. В. Михин // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5, № 4 (20). – С. 43–50. – Библиогр.: С. 49–50 (11 назв.). – DOI: 10.12737/17401.
6. Павлова, М. Д. Практикум по агрометеорологии : учеб. пособие / М. Д. Павлова. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1984. – 182 с.
7. Панков, Я. В. Теоретические основы защитного лесоразведения в условиях Среднерусской возвышенности / Я. В. Панков, В. И. Михин, Е. А. Михина // Природопользование, ресурсы, техническое обеспечение : Межвуз. сб. науч. трудов ; ВГЛТА. – Воронеж, 2004. – Вып. 2. – С. 64–71.
8. Парамонов, Е. Г. Оценка влияния лесополос на снегонакопления в сухой степи / Е. Г. Парамонов, А. А. Обидин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 7 (69). – С. 41–42. – Библиогр.: с. 42 (4 назв.). – ISSN: 1996-4277.
9. Раменский, Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – Москва : Сельхозгиз, 1938. – 620 с.

10. Рихтер, Г. Д. Использование снега и снежного покрова в целях борьбы за высокий урожай / Г. Д. Рихтер // Роль снежного покрова в земледелии. – Москва : Издательство АН СССР, 1953. – С. 6–61.
11. Сурмач, Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.
12. Тимерьянов, А. Ш. Лесная мелиорация : учеб. пособие / А. Ш. Тимерьянов. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 158 с. – ISBN 978-5-8114-1599-1.
13. Фомин, В. В. Методики оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения / В. В. Фомин, С. В. Залесов, А. Г. Магасумова // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 1 (131). – С. 25–29. – Библиогр.: с. 29 (1 назв.). – ISSN: 1997-4868.
14. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions / S. E. Macdodals [et al.] // New Forests. – 2015 – Vol. 46, Iss. 5–6. – P. 703–732.
15. Effects of Governance on Availability of Land for Agriculture and Conservation in Brazil / G. Sparovek [et al.] // Environmental Science and Technology. – 2015 – Vol. 49, Issue 17. – P. 10285–10293.
16. Tien Hing. Die Mathematische Formuleitung der Entwicklung von Durchmesser – Vertelung gleichfthriger Reinbcstaende] / V. Vu, Tien Hing // Diss A. TU Dresden. – 1982. – P. 40.
17. Zimmermann, R. Herleitung eines Ertragstalmodells fuer die Volumetwicklung und seint ueberpruefung an den Aufnahmeergebnissen von Versuchsund Probeflachen / R. Zimmermann // Diss Ah, TU Dresden–Sektion Fortwirtsch. Tharandt. – 1974 – P. 140.

References

1. Wilmowsky P.V., Levykin S.V., Jakovlev I.G. (2016) *Landshaftnye kriterii stepnoj melioracii* [Landscape criteria of steppe reclamation]. *Izvestija Orenburskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State University], no. 1(57), pp. 10-12 (in Russian).
2. Djunin A.K. *Mehanika metelej (voprosy teorii proektirovanija snegoregulirujushhikh sredstv)* [Snowstorm mechanics (questions of the theory of design of snow-regulating means)]. Novosibirsk: Publishing house SOAN CCCA, 1963. 378 p. (in Russian).
3. Losev A. F. *Agrometeorologija* [Agrometeorology]. Moscow: Kolos, 2001. 299 p. ISBN 5-10-003603-6.
4. *Metodika sistemnykh issledovanij lesoagrarnykh landshaftov* [Methodology for systemic research of forest-agricultural landscapes]. Moscow: VASKHNIL, 1985. 112 p. (in Russian).
5. Mikhin V.I., Mikhina E.A., Mikhin D.V. (2015) *Rol' polezashhitnykh nasazhdenij v preobrazovanii landshaftov Central'nogo Chernozem'ja* [The role of shelter plantations in the transformation of the landscapes of the Central Black Earth Region]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry engineering journal], Vol. 5, No 4 (20), pp. 43-50 (in Russian).
6. Pavlova M.D. *Praktikum po agrometeorologii: ucheb. posobie* [Workshop on agrometeorology: textbook]. Leningrad: Gidrometeizdat, 1984, 182 p. (in Russian).
7. Pankov Ya.V., Mikhin V.I., Mikhina E.A. *Teoreticheskie osnovy zashhitnogo lesorazvedenija v uslovijakh Srednerusskoj vozvyshehnosti* [Theoretical foundations of protective afforestation in the conditions of the Central Russian Upland]. *Prirodopol'zovanie, resursy, tekhnicheskoe obespechenie. Mezhvuz. sb. nauch. trudov, VGLTA* [Nature management, resources, technical support. Scientific works, VGLTA]. Voronezh, 2004. vol. 2, pp. 64-71 (in Russian).
8. Paramonov E.G., Obidin A.A. (2010) *Ocenka vlijanija lesopolos na snegonakoplenija v sukhoy stepi* [Assessment of the impact of forest belts on snow accumulation in dry steppe]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Altai State Agrarian University Bulletin], no. 7 (69). pp. 41-42 (in Russian).
9. Ramenskiy L.G. *Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel* [Introduction to the complex geobotanical and soil study of land]. Moscow: Selhozgiz, 1938, 620 p. (in Russian).

10. Rihter G.D. *Ispol'zovanie snega i snezhnogo pokrova v celjakh bor'by za vysokij urozhaj. Rol' snezhnogo pokrova v zemledelii* [Using snow and snow cover to fight for high yields. The role of snow cover in agriculture]. Moscow: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1953, pp. 6-61 (in Russian).
11. Surmach G.P. *Vodnaja jerozija i bor'ba s nej* [Water erosion and its control]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976, 254 p. (in Russian).
12. Timer'janov A.Sh. *Lesnaja melioracija: ucheb. posobie* [Forest melioration: textbook]. Saint Petersburg: Lan', 2014, 158 p. ISBN 978-5-8114-1599-1.
13. Fomin V.V., Zalesov S.V., Magasumova A.G. (2015) *Metodiki ocenki gustoty podrosta i drevostoev pri zarastanii sel'skhozjajstvennykh zemel' drevesnoj rastitel'nost'ju s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razreshenija* [Methods for assessing the density of undergrowth and forest stands during overgrowth of agricultural lands with woody vegetation using satellite images of high spatial resolution]. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], no. 1 (131), pp. 25-29 (in Russian).
14. Macdodals S.E. (et al.) (2015) Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. *New Forests*, vol. 46, iss. 5-6, pp. 703-732.
15. Sparovek G. (et al.) (2015) Effects of Governance on Availability of Land for Agriculture and Conservation in Brazil. *Environmental Science and Technology*, vol. 49, Issue 17, pp. 10285-10293.
16. Tien Hing, V. Vu. Die Mathematische Formuleitung der Entwicklung von Durchmesser – Vertelung gleichfthriger Reinbestaende. Diss A. TU Dresden. 1982. p. 40.
17. Zimmermann R. Herleitung eines Ertragstalmodells fuer die Volumetwicklung und seint ueberpruefung an den Aufnahmeergebnissen von Versuchsund Probeflachen. Diss Ah, TU Dresden–Sektion Fortwirtsch. Tharandt. 1974. p. 140.

Сведения об авторах

Грибачева Олеся Владимировна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой плодовоовощеводства и лесоводства ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», г. Луганск, Луганская Народная Республика; e-mail: olesya_kopaneva_78@mail.ua.

Чернодубов Алексей Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: chernodubov2010@yandex.ru.

Сотников Дмитрий Владимирович – магистрант, старший преподаватель кафедры плодовоовощеводства и лесоводства ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», г. Луганск, Луганская Народная Республика; e-mail: sotnikofd@mail.ru.

Information about authors

Gribacheva Olesya Vladimirovna – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Forestry and Horticulture of the State Educational Institution of the Lugansk People's Republic "Lugansk National Agrarian University", Lugansk, Lugansk People's Republic; e-mail: olesya_kopaneva_78@mail.ua.

Chernodubov Aleksey Ivanovich – DSc (Agriculture), Professor, Department of Forest Crops, Selection and Forest Reclamation, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: chernodubov2010@yandex.ru.

Sotnikov Dmitry Vladimirovich – Master's degree student, Senior Lecturer of the Department of Forestry and Horticulture of the State Educational Institution of the Lugansk People's Republic "Lugansk National Agrarian University", Lugansk, Lugansk People's Republic; e-mail: sotnikofd@mail.ru.

АНАЛИЗ СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ Р. *QUERCUS* Г. ВОРОНЕЖА И ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

кандидат биологических наук **А.А. Попова**

кандидат биологических наук **П.М. Евлаков**

1 – ФГБОУ ВО "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова",
г. Воронеж, Российская Федерация

Экосистемные услуги, предоставляемые лесными экосистемами, разнообразны: улучшение температурного режима и микроклимата, хранение углерода, ослабление ливневого потока, поглощение загрязняющих веществ из воздуха. Одним из научных инструментов, направленных на лесовосстановление, получение качественной лесной продукции, являются лесосеменные питомники, селекционные объекты. Нами были проанализированы материалы научных исследований мировой и российской лесной селекции. Выделены наиболее часто используемые подходы лесной селекции, цели и задачи, а также данные по селекционным объектам дуба в Воронежской области. В соответствии с мировыми практиками выбраны перспективные селекционные объекты, оценены возможности их дальнейшего использования. Были изучены следующие параметры селекционных объектов: цели создания, происхождение селекционного материала, видовой состав, возраст селекционных объектов, плодоношение. В практике мировой лесной селекции рассматриваются последствия внедрения неместных древесных насаждений на природные экосистемы, необходимость интеграции искусственных культур (плантаций), вопрос о породном (видовом) составе лесных плантаций, о предотвращении вторжения плантационных видов, морфофизиологическая оценка реакций географических культур, роль генетической адаптации и физиологической пластичности, а также испытательные культуры, отбор наиболее продуктивных особей. Выбраны следующие селекционные объекты дуба в Воронежской области: географические культуры, лесосеменная плантация, архив клонов, плюсовые деревья дуба черешчатого. Все эти объекты находятся в хорошем состоянии, продуктивны и дают семенное потомство. Таким образом, они могут быть внедрены в современные научные исследования лесной генетики и селекции в соответствии с задачами лесной отрасли.

Ключевые слова: селекция, дуб, географические культуры, архив клонов, плюсовые деревья, лесосеменная плантация, испытательные культуры

ANALYSIS OF QUERCUS SELECTION OBJECTS IN VORONEZH AND THE VORONEZH REGION

PhD (Biology) **A.A. Popova**

PhD (Biology) **P.M. Evlakov**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

Ecosystem services provided by forest ecosystems are diverse: improving microclimate formation, storing carbon, reducing storm flow, and absorbing pollutants from the air. One of the scientific tools aimed at reforestation and obtaining high-quality forest products is forest-seed nurseries and selection objects. We analyzed the materials of world and Russian scientific research on forest tree selection. The most frequently used approaches to forest selection, aims, as well as data on oak selection objects in the Voronezh region are highlighted. According to international practices, promising selection objects were selected and the possibility of their further use was evaluated. The following parameters of breeding objects were studied: creation aims, origin of breeding material, species, age of breeding objects, fruiting. In the practice of world forest breeding, the consequences of the introduction of non-native tree plantations on natu-

ral ecosystems, the need to integrate artificial plantations, the question of breed (species) forest plantation composition, prevention of invasion of plantation species, morphophysiological assessment of geographical crop responses, the role of genetic adaptation and physiological plasticity, as well as test crops, selection of the most productive individuals. The following oak selection objects were selected in the Voronezh region: geographical crops, forest-seed plantation, clone archive, plus trees. All these objects are in good condition, productive and produce seed progeny. Thus, they can be implemented in modern scientific research of forest genetics and breeding in accordance with the tasks of the forest industry.

Keywords: selection, oak, geographical crops, clone archive, plus trees, forest seed plantation, test crops

Введение

К настоящему времени лесной фонд стран имеет большое значение, причем количество и важность экологических и практических функций, выполняемых ими, огромно. Экосистемные услуги, предоставляемые зелеными насаждениями, разнообразны и имеют большое значение: это улучшение температурного режима и микроклимата, хранение углерода, ослабление ливневого потока, поглощение загрязняющих веществ из воздуха [23, 20, 13]. Для непрерывного и рационального использования лесных ресурсов лесной фонд разделен на леса разного пользования, в котором ведется или отсутствует хозяйственная деятельность человека. При этом невозможно полностью прекратить потребление древесины, необходимо развитие сбалансированной системы лесного пользования, направленной как на эффективное и продуктивное лесопользование, так и на сохранение и приумножение лесных ресурсов.

Существует ряд международных организаций, таких как ФАО, Центр международных лесохозяйственных исследований (СИФОР), Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), российских организаций – Федеральное агентство лесного хозяйства (Рослесхоз), Российский центр защиты леса, деятельность которых и направлена на мониторинг и управление лесными ресурсами.

Одним из научных инструментов, направленных на лесосохранение, лесовосстановление, получение качественной лесной продукции, являются лесосеменные питомники, а также селекционные объекты. Преимуществом развития этого направления является не только решение практических задач, направленных на получение древесины высокого качества, быстрорастущих растений, но и интеграция искусственно созданных лесных наса-

ждений в аборигенные природные сообщества, все чаще можно услышать термины «экологические функции» [23], «экологическая память» [22], «зеленые пояса» и «зеленая инфра-структура» [21].

К настоящему времени в регионах России существует большое количество селекционных объектов основных лесообразующих видов. Селекционные объекты, цели их создания, а также видовой состав разнообразны. В качестве селекционных объектов могут выступать: плюсовые деревья, их семенное и вегетативное потомство используется для создания лесосеменных плантаций, лесосеменные плантации, постоянные лесосеменные участки, испытательные культуры, гео-графические культуры, архивы клонов плюсовых деревьев [3]. Указанные селекционные объекты созданы и постоянно закладываются во множестве стран мира. Наиболее распространенными объектами мировой лесной селекции являются виды из родов *Pinus* и *Эвкалипт*. Такие плантации созданы в Белоруссии [2], Бразилии [24], Китае [22], Чили [14], Канаде [18, 19], Квебеке [11], Испании [15], Южной Тасмании [12] и многих других странах.

Несмотря на то что в России создана система ЕГСК – единый генетико-селекционный комплекс, селекционные объекты зачастую не обследованы, требуют инвентаризации, внедрения в современные селекционные и научные исследования.

Целью нашей работы стал анализ уже существующих селекционных объектов р. *Quercus* L. г. Воронежа и Воронежской области и поиск путей их эффективного использования в селекционном отборе дуба в Центрально-Черноземном регионе, основываясь на российских и мировых практиках.

Материалы и методы

Нами были проанализированы материалы научных исследований мировой и российской лесной селекции. Поиск статей проводили в библио-

графических базах данных научных работ: Scopus, Google Scholar, eLibrary. Поисковые запросы осуществляли по следующим ключевым словам: лесная селекция, плантации, лесовосстановление, лесная генетика, географические культуры, испытательные культуры. Выделены наиболее часто используемые подходы лесной селекции, цели и задачи. Затем были исследованы селекционные объекты дуба в Воронежской области, основываясь на материалах «Объекты селекционного семеноводства дуба в ЦЧР, 2018» [10], «Опытно-производственные селекционно-семеноводческие объекты НИИЛГиС» I и II том, 2004 [7]. В соответствии с мировыми практиками, выбраны перспективные селекционные объекты, оценены возможности их дальнейшего использования по следующим параметрам: цели создания, происхождение селекционного материала, видовой состав, возраст селекционных объектов, плодоношение.

Результаты и обсуждение

Направления исследования мировой и российской селекции

В результате анализа литературных данных нами были выделены следующие наиболее актуальные направления в создании и использовании селекционных объектов.

В практике мировой лесной селекции: исследования, направленные на оценку последствий внедрения неместных древесных насаждений на природные экосистемы [15, 18], рассматривается необходимость интеграции искусственных культур (плантаций) [16], вопрос о породном (видовом) составе лесных плантаций [22], вопрос о предотвращении вторжения плантационных видов [14], морфофизиологическая оценка реакций географических культур, роль генетической адаптации и физиологической пластичности [11, 19], а также испытательные культуры, отбор наиболее продуктивных особей [18], культур, пригодных к росту на сильно деградированных участках [17].

В России к настоящему моменту в разных регионах созданы испытательные, географические культуры, лесосеменные плантации, на которых чаще всего идет отбор фенотипически плюсовых деревьев по хозяйственно ценным признакам, оценка продуктивности клонов фенотипически плюсовых деревьев [1, 6, 9], изучение возможности

создания устойчивых лесозащитных полос в аридном климате [5, 9], модернизации системы сбора и хранения семенного материала, анализ созданных культур, их модернизация, последующий отбор ценных фенотипов и генотипов [6, 8, 9].

Анализ дубрав, проведенный в 2013 г. [4], показал, что по потенциальной продуктивности с учетом площади и бонитета ранжирование регионов России выстраивается в следующем порядке: Республика Башкортостан; Саратовская, Воронежская, Белгородская области; Республика Татарстан; Пензенская и Самарская области.

Дубравы отличаются особой экологией и хозяйственной ценностью, при этом их площади по разным причинам значительно уменьшились, а состояние ухудшилось [4].

В Воронежской области в 70-х годах было заложено в общей сложности более 80 селекционных объектов и выделено более 180 плюсовых деревьев р. *Quercus* L. Закладка географических культур проводилась по Государственной программе создания географических культур сосны, ели, дуба, лиственницы, кедра, пихты (приказ Гослесхоза СССР № 29 от 6 февраля 1973 г.). Общей большой Программы создания селекционных объектов в СССР с выделением средств не было, объекты создавались согласно темпланам институтов.

Характеристика объектов исследования р. Quercus L. Воронежской области, перспективных для продолжения селекционных мероприятий в соответствии с современными тенденциями

Для проведения современных селекционных исследований могут быть использованы следующие научные генетико-селекционные объекты, в которых возможен отбор хозяйственно-ценных признаков, проведение исследований по выявлению взаимодействий генотип – среда, а также сбор материала для создания коллекции селекционно ценных генотипов и для наполнения семенного банка рода *Quercus* L.

Объект № 1. Географические культуры дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Создан в 1976-1977 годах под руководством А.М. Шутяева географическими культурами дуба черешчатого площадью 14,8 га в кварталах 26, 42 Красного участкового лесничества Воронцов-

ского лесничества Воронежской области. Целью создания географических культур является изучение потомств региональных популяций дуба черешчатого в условиях Центральной лесостепи. Испытывается 37 происхождений, отобранных в разных регионах бывшей территории СССР. В данных культурах возможен анализ взаимодействия генотип – среда, а также отбор генотипов с хозяйственно ценными признаками (засухоустойчивость, скорость роста, прирост древесины, семенная продуктивность). На данном объекте возможно проанализировать генетическое родство (провести генетическую паспортизацию) дуба черешчатого разного географического происхождения с целью выявления генетического разнообразия дуба черешчатого в России и ближнем зарубежье.

Объект № 2. Лесосеменная плантация дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Лесосеменная плантация дуба черешчатого, которая была заложена в 1976 году из семенного материала, собранного под кронами плюсовых деревьев позднораспускающейся и промежуточной фенотипов дуба черешчатого в Шиповом лесу. Поздняя форма дуба черешчатого обладает большей устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам, среди которых: поздние заморозки, листогрызущие насекомые-паразиты и фитопатогенные грибные заболевания. На ЛСП представлены полусибсовы потомства 54 плюсовых деревьев по диаметру ствола и высоте. В данных культурах возможен отбор генотипов дуба черешчатого с высокой скоростью роста в высоту и ширину, а также стабильным или более частым семеношением.

Объект № 3. Архив клонов дуба разного географического происхождения

Архив клонов следующих видов рода *Quercus*: д. черешчатый, д. скальный, д. крупнопильниковый и пирамидальная форма д. черешчатого. Архив клонов был заложен в 1978 г. с целью изучения влияния географического перемещения привойного материала на плодоношение клонов. В данном архиве клонов будут изучены вопросы, связанные с возможностями применения вегетативного размножения деревьев рода *Quercus* путем прививки черенков на подвой дуба черешчатого, оценка взаимодействия подвой – привой и анализ возможного введения в культуры южных видов рода

Quercus. Возможна оценка отобранных генетических маркеров хозяйственно ценных признаков для выявления межвидовых различий.

Объект № 4. Плюсовые насаждения дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

Данные плюсовые насаждения являются самым высокопродуктивным участком в климатических условиях Центрального Черноземья. Это высококачественные древостои хорошего санитарного состояния с полнотой не менее 05. Основными хозяйственно ценными признаками плюсовых деревьев являются диаметр, высота ствола. В данном насаждении возможен дополнительный отбор фенотипически плюсовых деревьев, обладающих хозяйственно ценными признаками для поиска их генетических маркеров и создания семенного банка, а также выращивание из этих желудей улучшенного генетически ценного посадочного материала. Посадочный материал может быть использован как объект научного исследования, в качестве материала для лесоразведения и в качестве подвоя при вегетативном размножении дубов.

Объект № 5. Сеянцы дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

В 2019 г. была заложена плантация дуба черешчатого, расположенная в городской черте г. Воронежа. Однолетние сеянцы дуба черешчатого, выращенные из желудей, случайно отобранных в популяциях г. Воронежа и его пригорода. Сбор семенного материала проводили в материнских насаждениях, проанализированных по морфологическим параметрам: средний прирост побега за вегетационный период, размер листовой пластинки, вес, размер желудей. Был проведен цитогенетический анализ семенного материала, проанализированы митотическая активность и патологии митоза у проростков желудей.

В данном насаждении проводится анализ устойчивости потомства дуба черешчатого к комплексу абиотических и антропогенных факторов, возможность использования семян дубовых насаждений, произрастающих в городской среде. Также возможен отбор по фенотипическим признакам активности роста и толщины побега с целью проверки генетических маркеров.

Объект № 6. Деревья-долгожители дуба черешчатого (*Quercus robur* L.)

В Воронеже и Воронежской области произрастают экземпляры дуба черешчатого возрастом более 100 лет. Данные экземпляры могут быть использованы для выявления генетических маркеров продолжительности жизни деревьев, опосредованно связанных с устойчивостью к факторам абиотической, биотической и антропогенной природы. Кроме того, при обнаружении у них других хозяйственно ценных признаков могут стать материалом для генетических исследований, вегетативного размножения и формирования семенного банка.

Заключение

Проанализированный материал научных исследований показывает, что существует несколько основных направлений лесной селекции: выведение высокопродуктивных форм древесных растений, адаптивных видов древесных растений к изменению климатических факторов, создание устойчивой зеленой инфраструктуры городов, а также поддержание экологического каркаса природных лесов и интеграция лесных культур в природное сообщество. Нами были выбраны следующие селекционные объекты дуба в Воронежской области: географические культуры, лесосеменная плантация, архив клонов, плюсовые деревья дуба черешчатого. Все эти объекты находятся в хорошем состоянии, продуктивны и дают семенное потомство. Таким образом, они могут быть внедрены в современные научные исследования лесной генетики

и селекции в соответствии с задачами лесной отрасли. Географические культуры р. *Quercus* могут быть использованы для оценки генетического разнообразия дуба черешчатого в России и ближнем зарубежье. Лесосеменная плантация может служить материалом для отбора генотипов дуба черешчатого с высокой скоростью роста в высоту и ширину, а также стабильным и более частым семеношением. В архиве клонов р. *Quercus* возможны отбор и апробация генетических маркеров хозяйственно ценных признаков и выявление межвидовых различий. Плюсовые насаждения могут быть использованы для следующей ступени отбора деревьев с хозяйственно ценными признаками и оценки наследуемости признаков у потомства, для поиска генетических маркеров хозяйственно ценных признаков, создания банка семян. Посадочный материал может быть использован как объект научных исследований, в качестве материала для лесоразведения и в качестве подвоя при вегетативном размножении дубов. Деревья-долгожители могут быть использованы для выявления генетических маркеров продолжительности жизни, устойчивости к факторам биотической и абиотической природы, могут стать материалом для клонального вегетативного размножения и формирования семенного банка.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Воронежской области в рамках научного проекта № 19-44-363001\19.

Библиографический список

1. Бессчетнов, В. П. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа / В. П. Бессчетнов, Н. Н. Бессчетнова // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2012. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/selektionnaya-otsenka-plyusovyh-dereviev-sosny-obyknovennoy-metodami-mnogomernogo-analiza> (дата обращения: 10.09.2020).
2. Каштелян, Т. В. Функционирование лесного комплекса Беларуси: структурный аспект / Т. В. Каштелян, А. А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2016. – № 7 (189). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionirovanie-lesnogo-kompleksa-belarusi-strukturnyy-aspekt> (дата обращения: 10.09.2020).
3. Комитет лесного хозяйства. – URL: <https://komleshoz.livejournal.com/175396.html> (дата обращения: 02.09.2020).
4. Кострикин, В. А. К вопросу о генофонде дубрав / В. А. Кострикин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – №4 (96). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-genofonde-dubrav> (дата обращения: 05.09.2020).

5. Крючков, С. Н. Селекционное семеноводство для защитного лесоразведения на юго-востоке европейской территории России : специальность 06.03.01; 06.03.04: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Крючков Сергей Николаевич. – Волгоград, 2004. – 44 с.
6. Лаур, Н. В. Лесной генетико-селекционный комплекс / Н. В. Лаур, В. А. Брынцев, А. П. Царев; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Московский гос. ун-т леса». – Москва : Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2013. – 91 с.
7. Опытнo-производственные селекционнo-семеноводческие объекты НИИЛГиС. Т. I, II / под общ. ред. Ю. П. Ефимова. – Воронеж : ООО Биомик, 2004. – 214 с. – ISBN 5-88242-320-1.
8. Туркин, А. А. Испытание потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной : на примере Республики Коми : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : автореферат дис. ... канд. с.-х. наук / Туркин Андрей Александрович ; Архангел. гос. техн. ун-т. – Архангельск, 2007. – 20 с.
9. Шейкина, О. В. Оценка селекционного потенциала клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной / О. В. Шейкина, Ю. Ф. Гладков // Научный журнал КубГАУ – Scientific Journal of KubSAU. – 2013. – № 93. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-selektionnogo-potentsiala-klonov-plyusovyh-dereviev-sosny-obuyknovennoy> (дата обращения: 10.09.2020).
10. Объекты селекционного семеноводства дуба в ЦЧР : моногр. / В. К. Ширнин, В. А. Кострикин, Л. В. Ширнина [и др.]. – Воронеж, 2018. – 194 с. – ISBN: 978-5-6040396-8-7.
11. Thermal acclimation of photosynthesis and respiration of southern and northern white spruce seed sources tested along a regional climatic gradient indicates limited potential to cope with temperature warming / L. Benomar, M. S. Lamhamedi, S. Pepin [et al.] // Ann Bot. – 2018. – No. 121 (3). – P. 443–457. – doi:10.1093/aob/mcx174.
12. Evidence that divergent selection shapes a developmental cline in a forest tree species complex / J. Costa E Silva, P. A. Harrison, R. Wiltshire, B. M. Potts // Ann Bot. – 2018. – No. 122 (1). – P. 181–194. – doi:10.1093/aob/mcy064.
13. Holm Oak (*Quercus ilex* L.) canopy as interceptor of airborne trace elements and their accumulation in the litter and topsoil / F. Fantozzi, F. Monaci, T. Blanusa, R. Bargagli // Environ Pollut. – 2013. – Vol. 183. – P. 89–95. – doi:10.1016/j.envpol.2012.11.037.
14. Maintaining close canopy cover prevents the invasion of *Pinus radiata*: Basic ecology to manage native forest invisibility / P. Gómez, M. Murúa, J. San Martín [et al.] // PLoS One. – 2019. – Vol. 14 (6). – e0219328. – Published 2019 May 24. – doi:10.1371/journal.pone.0210849.
15. Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients / L. Gómez-Aparicio, M. A. Zavala, F. J. Bonet, R. Zamora // Ecol Appl. – 2009. – No. 19 (8). – P. 2124–2141. – doi:10.1890/08-1656.1.
16. Effects of converting cultivated land into forest land on the characteristics of soil organic carbon in limestone mountain area in Ruichang, Jiangxi / Y. Q. Liu, F. Wang, G. Q. Ke. [et al.] // Ying Yong Sheng Tai Xue Bao. – 2011. – Apr; 22(4). – P. 885–890. (in Chinese). – PMID: 21774308.
17. Selection of Native Tree Species for Subtropical Forest Restoration in Southwest China / Y. Lu, S. Ranjitkar, R. D. Harrison [et al.] // PLoS One. – 2017. – Vol. 12 (1). – e0170418. – Published 2017 Jan 19. – doi: 10.1371/journal.pone.0170418.
18. Growing-season frost is a better predictor of tree growth than mean annual temperature in boreal mixedwood forest plantations / B. Marquis, Y. Bergeron, M. Simard, F. Tremblay // Glob Chang Biol. – 2020. – DOI: 10.1111/gcb.15327.
19. Ecophysiology and Growth of White Spruce Seedlings from Various Seed Sources along a Climatic Gradient Support the Need for Assisted Migration / G. Otis Prud'homme, M. S. Lamhamedi, L. Benomar [et al.] // Front Plant Sci. – 2018. – 8: 2214. – Published 2018 Jan 8. – doi:10.3389/fpls.2017.02214.
20. The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure / W. F. Ross, T. B. Cameron, J. E. Taylor [et al.] // Urban Forestry & Urban Greening. – 2012. – Vol. 11. – P. 129–137. – doi: 10.1016/j.ufug.2012.01.002.

21. Runfola, D. M. What Makes Green Cities Unique? Examining the Economic and Political Characteristics of the Grey-to-Green Continuum / D. M. Runfola, S. Hughes // *Land*. – 2014. – Vol. 3. – P. 131–147. – doi: 10.3390/land3010131.

22. Using ecological memory as an indicator to monitor the ecological restoration of four forest plantations in subtropical China / Z. Sun, H. Ren, V. Schaefer [et al.] // *Environ Monit Assess*. – 2014. – Vol. 186 (12). – P. 8229–8247. – doi: 10.1007/s10661-014-4000-6.

23. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments / M. Tallis, G. Taylor, D. Sinnett, P. Freer-Smith // *Landscape and Urban Planning*. – 2011. – Vol. 103 (2). – P. 129–138. – ISSN 0169-2046. – DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.07.003.

24. Valduga, M. O. Ecological impacts of non-native tree species plantations are broad and heterogeneous: a review of Brazilian research / M. O. Valduga, R. D. Zenni, J. R. Vitule // *An Acad Bras Cienc*. – 2016. – No. 88 (3 Suppl). – P. 1675–1688. – doi:10.1590/0001-3765201620150575.

References

1. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. (2012) *Seleksionnaya otsenka plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy metodami mnogomernogo analiza* [Selection evaluation of Scots pine plus trees by multivariate analysis methods]. *Izvestiya VUZov. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forestry journal], № 2, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/seleksionnaya-otsenka-plyusovykh-dereviev-sosny-obyknovennoy-metodami-mnogomernogo-analiza> (date of access: 10.09.2020) (in Russian).

2. Kashtelyan T.V., Ermalitsky A.A. (2016) *Funktsionirovaniye lesnogo kompleksa Belarusi: strukturnyy aspekt* [The functioning of the forest complex of Belarus: structural aspect]. *Trudy BGTU Seriya 5: Ekonomika i upravleniye* [Proc. of the BGTU, Economics and law series], № 7 (189). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionirovanie-lesnogo-kompleksa-belarusi-strukturnyy-aspekt> (date of access: 10.09.2020) (in Russian).

3. *Komitet lesnogo khozyaystva* [Forestry committee]. URL: <https://komleshov.livejournal.com/175396.html> (date of request: 02.09.2020) (in Russian).

4. Kostrikin V.A. (2013) *K voprosu o genofonde dubrav* [To the question of the gene pool of oak forests]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], № 4 (96). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-genofonde-dubrav> (date of access: 05.09.2020) (in Russian).

5. Kryuchkov S.N. *Seleksionnoye semenovodstvo dlya zashchitnogo lesorazvedeniya na yugo-vostoke evropeyskoy territorii Rossii: avtoref. dis. ... dokt. s.-kh. nauk* [Selective seed production for protective afforestation in the South-East of the European territory of Russia: DSc (Agriculture) thesis abstr.]. Volgograd, 2004, 44 p. (in Russian).

6. Laur N.V., Bryntsev V.A., Tsarev A.P. *Lesnoy genetiko-seleksionny kompleks* [The forest genetic and selection complex]. Moscow: Izd-vo Moskovskogo gos. un-ta lesa, 2013, 91 p. (in Russian).

7. *Opytno-proizvodstvennyye seleksionno-semenovodcheskiye obyekty NIILGiS. T. I, II* [Experimental production selection and seed-growing facilities of Niilgis. Volume I, II] / *pod obshch. red. Yu.P. Yefimova* [ed. by Yu.P. Efimov]. – Voronezh: OOO Biomik. 2004, 214 p. ISBN 5-88242-320-1 (in Russian).

8. Turkin A.A. *Ispytaniye potomstva plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy : na primere Respubliki Komi: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Testing the offspring of plus trees of Scots pine: PhD (Agriculture) thesis abstr.]. Arkhangel'sk, 2007, 20 p. (in Russian).

9. Sheykina O.V., Gladkov Yu.F. (2013) *Otsenka seleksionnogo potentsiala klonov plyusovykh derev'yev sosny obyknovennoy* [Assessment of the breeding potential of clones of plus trees of Scots pine]. *KubGAU - Scientific Journal of KubSAU*, № 93. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-seleksionnogo-potentsiala-klonov-plyusovykh-dereviev-sosny-obyknovennoy> (date of access: 10.09.2020) (in Russian).

10. Shirnin V.K., Kostrikin V.A., Shirnina L.V. (et al.) *Obyekty selektsionnogo semenovodstva duba v TSCHR : monogr.* [Objects of breeding seed production of oak in the Central Chernozem region: a monograph]. Voronezh, 2018, 194 p. ISBN: 978-5-6040396-8-7 (in Russian).
11. Benomar L., Lamhamedi M.S., Pepin S. (et al.) (2018) Thermal acclimation of photosynthesis and respiration of southern and northern white spruce seed sources tested along a regional climatic gradient indicates limited potential to cope with temperature warming. *Ann Bot.* 121(3), pp. 443-457. doi:10.1093/aob/mcx174.
12. Costa E Silva J., Harrison P.A., Wiltshire R., Potts B.M. (2018) Evidence that divergent selection shapes a developmental cline in a forest tree species complex. *Ann Bot.* 122(1), pp. 181-194. doi:10.1093/aob/mcy064.
13. Fantozzi F., Monaci F., Blanusa T., Bargagli R. (2013) Holm Oak (*Quercus ilex* L.) canopy as interceptor of airborne trace elements and their accumulation in the litter and topsoil. *Environ Pollut.* 183, pp. 89-95. doi:10.1016/j.envpol.2012.11.037.
14. Gómez P., Murúa M., San Martín J. (2019) Maintaining close canopy cover prevents the invasion of *Pinus radiata*: Basic ecology to manage native forest invisibility. *PLoS One.* 14(6). e0219328. Published 2019 May 24. doi:10.1371/journal.pone.0210849.
15. Gómez-Aparicio L., Zavala M.A., Bonet F.J., Zamora R. (2009) Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients. *Ecol Appl.* 19(8), pp. 2124-2141. doi:10.1890/08-1656.1.
16. Liu Y.Q., Wang F., Ke G.Q. (et al.) (2011) Effects of converting cultivated land into forest land on the characteristics of soil organic carbon in limestone mountain area in Ruichang, Jiangxi. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* 2011 Apr; 22(4): 885-90. (in Chinese). PMID: 21774308.
17. Lu Y., Ranjitkar S., Harrison R.D. (et al.) (2017) Selection of Native Tree Species for Subtropical Forest Restoration in Southwest China. *PLoS One.* 12(1). e0170418. Published 2017 Jan 19. doi: 10.1371/journal.pone.0170418.
18. Marquis B., Bergeron Y., Simard M., Tremblay F. (2020) Growing-season frost is a better predictor of tree growth than mean annual temperature in boreal mixedwood forest plantations. *Glob Chang Biol.* doi: 10.1111/gcb.15327.
19. Otis Prud'homme G., Lamhamedi M.S., Benomar L. (et al.) (2018) Ecophysiology and Growth of White Spruce Seedlings from Various Seed Sources along a Climatic Gradient Support the Need for Assisted Migration. *Front Plant Sci.* 8: 2214. Published 2018 Jan 8. doi:10.3389/fpls.2017.02214.
20. Ross W.F., Cameron T.B., Taylor J.E. (et al.) (2012) The domestic garden – Its contribution to urban green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening.* No. 11, pp. 129-137. doi: 10.1016/j.ufug.2012.01.002.
21. Runfola D.M., Hughes S. (2014) What Makes Green Cities Unique? Examining the Economic and Political Characteristics of the Grey-to-Green Continuum. *Land*, Vol. 3, pp. 131-147. doi: 10.3390/land3010131.
22. Sun Z., Ren H., Schaefer V. (et al.) (2014) Using ecological memory as an indicator to monitor the ecological restoration of four forest plantations in subtropical China. *Environ Monit Assess.* 186 (12), pp. 8229-8247. doi: 10.1007/s10661-014-4000-6.
23. Tallis M., Taylor G., Sinnett D., Freer-Smith P. (2011) Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning.* 103 (2), pp. 129-138. ISSN 0169-2046. doi: 10.1016/j.landurbplan.2011.07.003.
24. Valduga M.O., Zenni R.D., Vitule J.R. (2016) Ecological impacts of non-native tree species plantations are broad and heterogeneous: a review of Brazilian research. *An Acad Bras Cienc.* 88 (3 Suppl): 1675-1688. doi: 10.1590/0001-3765201620150575.

Сведения об авторах

Попова Анна Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: logachevaaa@rambler.ru.

Евлаков Петр Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: peter.evlakov@yandex.ru.

Information about authors

Popova Anna Aleksandrovna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: logachevaaa@rambler.ru.

Evlakov Petr Mikhailovich – PhD (Biology), Head of laboratory, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: peter.evlakov@yandex.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ РАУНДАПА В БОРЬБЕ С НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ПОРОСЛЬЮ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

научный сотрудник **А.В. Попов**

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник **Н.В. Рыбалкина**
ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП», Таловский район, Воронежская область, Российская Федерация

В статье анализируется девятилетний опыт эффективности применения гербицида раундап на основе глифосата в разрастающихся опушках в защитных лесных полосах и на трелевочных волоках. Впервые в условиях Каменной Степи, которая считается наилучшей созданной системой защитного лесоразведения в России, изучены варианты химической борьбы с порослью различных пород в сравнении с механической. Приведена характеристика гербицида, принцип действия и методика его применения. Установлено, что после обработки пней свежесрубленных деревьев этим препаратом поросль не появляется во все последующие годы, а на 3-й год начинается процесс разрушения пней. По сравнению с другими химическими способами он имеет минимальные затраты труда и денежных средств на его применение, не говоря уже о механическом. Таким образом, эффективность способа обработки свежих пней гербицидом наивысшая. После обработки поросль образуется частично, угнетенная и на следующий год отмирает. Установлено, что этот способ снижает затраты труда в 17 раз, а стоимость работ – в 6-7 раз в сравнении с механическим.

Ключевые слова: глифосат, нежелательная поросль, защитные лесные насаждения

APPLICATION OF ROUNDUP (GLYPHOSATE) IN THE FIGHT AGAINST UNWANTED SPRING OF TREE SPECIES IN PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

Researcher **A.V. Popov**

PhD (Agriculture), Senior Researcher **N.V. Rybalkina**

Federal State Budgetary Scientific Institution "Research institute of agriculture of the Central Chernozem district named after V.V. Dokuchaev", Talovski district, Voronezh Region, Russian Federation

The article analyzes the nine-year experience of the effectiveness of the use of the herbicide Roundup (based on glyphosate) in the growing edges in protective forest belts and on skid roads. Options for chemical growth control of various species in comparison with mechanical ones have been studied for the first time in the conditions of Stone Steppe, which is considered to be the best created system of protective afforestation in Russia. The characteristics of the herbicide, the principle of action and the method of its application are given. It was found that shoots do not appear in all subsequent years, and the process of stump destruction begins at 3 years after treatment of stumps of freshly cut trees with this preparation. In comparison with other chemical methods, it has minimal labor and money costs for its application. Thus, the efficiency of the method for treating fresh stumps with herbicide is the highest one. After processing, undergrowth is partially formed, depressed and dies off the next year. It has been found that this method reduces labor costs by 17 times, and the labor cost - by 6.7 times in comparison with mechanical treatment.

Keywords: glyphosate, unwanted undergrowth, protective plantations

Введение

В условиях Центрально-Черноземной зоны (ЦЧЗ) России защитное лесоразведение является составляющим компонентом ведения сельского хозяйства.

Общая площадь защитных лесных насаждений (ЗНЛ) в ЦЧЗ составляет почти 0,5 млн га (табл. 1) [1], из которых на полезащитные приходится 148,6 тыс. га.

С возрастом в полезащитных лесных насаждениях ширина опушек увеличивается в 7-8 раз по сравнению с проектной. Обычно на опушечную зону отводится 0,5 ширины междурядья с каждой стороны лесной полосы. Практика показала, что через 30-40 лет древесная и кустарниковая растительность может занять территорию до 10-12 м от крайнего ряда материнского насаждения, что значительно ухудшает конструкцию полезащитных лесных полос и отнимает существенную часть пахотных угодий у сельскохозяйственных производителей [2]. После вырубki опушек появляется обильная поросль, которая, в свою очередь, требует ежегодной вырубki и, соответственно, больших затрат на ее осуществление. Но проблема с разрастанием опушек не единственная. На примере старовозрастных Докучаевских лесных полос, созданных в период «Особой экспедиции...» 1892–1898 гг., состоящих в основном из дуба, клена остролистного, ясеня обыкновенного, липы, происходит распад древостоя. Это заключается в массовом усыхании ясеня, зараженного ложным опенком, перестойной липы, усыхании дуба. Все защитные насаждения требуют незамедлительных санитарных рубок с сохранением подроста и самосева. Широкие возможности для многократного повышения производительности труда и увеличения объемов работ по борьбе с порослевым возобновлением, как в опушках, так и на трелевочных волоках, имеет химический метод.

Основные надежды российские лесоводы связывают с препаратами на основе глифосата. Глифосат был синтезирован в 1971 году в США. Коммерческие препараты на основе глифосата – раундап, родео, торнадо и др. – выпускает фирма Monsanto. В последние годы аналоги раундапа выпускают также в России и других странах. Препараты на основе глифосата применяют в лесном хо-

зяйстве для борьбы с сорной и нежелательной растительностью. Они содержат набор смачивателей для усиления проникновения в листья растений. Гербициды системного действия. Поступают в растения только через листья и зеленые части стебля, через почву не действуют и быстро в ней разлагаются. В течение 3-4 часов после обработки препарат поглощается листьями, затем активно перемещается по растению, в том числе в корни и корневища, вызывая их отмирание.

В Норвегии к 1986 году примерно 20-25 % площадей, подготавливаемых под лесные культуры, обрабатывались раундапом. В Канаде в 1988 г. раундап применялся на 81 % лесной площади, подвергнутой обработке гербицидами (Campbell, 1990). Применение глифосатов, в частности раундапа, было успешным в борьбе с сорняками при выращивании сеянцев сосны [3, 4], ели [5]. В России препараты на основе глифосата до сих пор используются в основном на трассах газопроводов, нефтепроводов, линиях электропередач, на которых наличие растительности недопустимо. Однако применение химических средств для борьбы с сорной травянистой и древесной растительностью допускается в исключительных случаях с учетом охраны окружающей среды. Основным документом, регламентирующим применение пестицидов и агрохимикатов, является «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ»

Следует заметить, что экологическая проблема – серьезный аргумент против глифосатов. Так, глифосат имеет негативное воздействие на некоторые почвенные микроорганизмы [6], такие как почвенные водоросли, накапливается в почвенных водах и бассейнах рек [7], что может негативно сказываться на окружающей среде.

ЕС рассматривает вопрос по поводу повторного одобрения на использование гербицида глифосат, который производит американский биотехнологический гигант Monsanto. Это основано на данных исследований, в которых говорится, что глифосат может наносить серьезный вред эндокринной системе человека, обращая внимание на недавний конфликт между Европейским агентством по безопасности продуктов питания и Международным агентством по изучению рака (МАИР).

МАИР классифицировало глифосат как «возможный канцероген», тогда как европейский регулятор распространил заключение, согласно которому химикат «вряд ли обладает канцерогенной угрозой для людей» (по данным Европейской Ассоциации Пищевой Продукции [8]).

Российские ученые в своих исследованиях доказывают, что применение раундапа в рекомендуемых дозах не вызывает изменений основных биологических свойств почвы, имеет низкую токсичность для теплокровных животных и безопасно для человека [9, 10, 11].

Анализируя зарубежную и отечественную литературу, выяснили, что применение раундапа было направлено на борьбу с сорняками при выращивании семян, культур и насаждений древесно-кустарниковых пород.

Новизна данной работы состоит в том, что применение раундапа было впервые использовано для уничтожения нежелательной поросли древесно-кустарниковых пород в защитных лесных насаждениях Центрального Черноземья. Актуальность заключается в выявлении наилучшего метода борьбы с порослью при разрастании опушек защитных лесных полос и на трелевочных волоках.

Материалы и методы

Существует несколько способов работы с гербицидами: опрыскивание, способ инъекции гербицида в стволы деревьев и способ обработки свежих пней гербицидом.

1. Опрыскивание – равномерное распределение рабочего раствора, где жидкость готовится непосредственно перед обработкой путем смешивания с водой. При этом способе химической обработки используют опрыскиватели различных конструкций и марок («Жук», «Patriot», «Sturm», «Makita» и другие).

2. Способ инъекции гербицида в стволы позволяет осуществлять индивидуальный отбор деревьев и поэтому в наибольшей степени отвечает лесоводственным требованиям, но его применение сопряжено с большими затратами рабочего времени. Сущность способа заключается в том, что на нижней части ствола на высоте, удобной для работающего, делаются насечки, в которые вводится определенное количество гербицида. Глубина поражения на стволе, в который вводится гербицид, должна составлять 1-2 см. Введение гербицида в менее глубокие зарубки не обеспечивает его продвижения вверх по проводящим элементам древесины. Кроме того, в этом случае гербицид подвергается ускоренному разложению в коре и прикамбиальной зоне. Однако нанесение слишком глубоких поражений также нецелесообразно, так как это сопряжено с введением токсиканта в менее активную зону древесины и с увеличением трудоемкости работ. Введенный в насечку на стволе гербицид передвигается не только по стволу, но и в тангентальном направлении, по окружности ствола. Эта особенность позволяет делать насечки не сплошь в виде кольца, а интервалами через 6-8 см по периметру. Угол наклона насечки около 45° к вертикали, чтобы раствор не вытекал из нее.

3. Способ обработки свежих пней гербицидом. При использовании препарата путем нанесения на поверхность пней свежесрубленных деревьев достигается предотвращение появления корневых отпрысков и пневой поросли лиственных пород.

Раствор гербицида наносят мягкой кистью по периферии пня или путем опрыскивания с помощью ранцевых опрыскивателей.

Таблица 1

Площади (га) защитных лесных насаждений ЦЧЗ

Категория ЗЛН	Всего	В том числе по областям				
		Белгородская	Воронежская	Курская	Липецкая	Тамбовская
Полезащитные	148624	18148	57109	21804	18804	32759
Противоэрозийные	242757	64622	53005	47865	50593	26672
Прочие	96838	3765	60734	10045	3639	18655
Итого	488219	86535	170848	79714	73036	78086

Характеристика поросли после обработки препаратом в л. п. 109

Вариант	Порода	До обработки, 15.06.2010			Расход рабочего раствора, л/га	После обработки, через месяц, состояние, %			Состояние на октябрь 2019 г.		
		Кол-во шт. на 1 га	Диаметр ср., см	Высота ср., м		Живые	Угнетенные	Сухие	Кол-во, шт./га	Диаметр ср., см	Высота ср., м
1	Яп	468	1,2±0,2	0,95±0,05	1850	2	28	70	1248	0,9±0,1	1,98±0,1
	Ко	1780	0,5±0,1	0,51±0,04		3	16	81	1716	0,6±0,1	2,05±0,1
	Кяс	1092	0,7±0,1	0,52±0,03		-	-	100	-	-	-
	В					-	-	-	624	0,8±0,1	2,01±0,1
	∑	3340							3588		
2	Яп	1404	0,5±0,1	0,48±0,03	925	18	25	57	1660	0,9±0,2	1,74±0,3
	Ко	2028	0,6±0,1	0,50±0,04		12	21	67	3566	0,8±0,1	2,11±0,2
	Кяс	1560	1,1±0,2	0,78±0,03		10	23	62	-	-	-
	В	312	0,4±0,1	0,45±0,08		0	0	100	333	0,4±0,1	1,50±0,1
	Бзн	468	1,2±0,2	0,64±0,10		0	0	100	-	-	-
	Бр.млк	156	0,6±0,1	0,45±0,10		-	58	42	300	0,4±0,1	1,65±0,1
	∑	5928							5859		
3	Яп	780	0,9±0,1	0,64±0,08	555	42	40	18	1010	1,2±0,2	1,83±0,2
	Ко	2496	0,5±0,1	0,49±0,03		54	36	10	3725	0,8±0,1	2,30±0,1
	В	624	0,4±0,1	0,52±0,07		59	32	9	420	0,5±0,1	1,61±0,1
	∑	3900							5155		
4(к)	Яп	624	1,0±0,1	0,72±0,08	-	-	-	-	624	2,5±0,2	3,15±0,1
	Ко	1472	0,6±0,1	0,53±0,05		-	-	-	1560	1,4±0,1	2,68±0,1
	Кяс	780	0,9±0,1	0,81±0,07		-	-	-	936	3,3±0,2	4,38±0,2
	Брск	936	0,6±0,1	0,52±0,06					1092	0,4±0,1	1,62±0,1
	∑	4216							4212		

Каждая порода обозначена условным знаком согласно ОСТ 56-22-74. Условные обозначения следующие: Дч – дуб черешчатый (*Quercus robur*); Яо – ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*); Яп – ясень пушистый (*Fraxinus pubescens*); Ко – клен остролистный (*Acer platanoides*); Кяс – клен ясенелистный (*Acer negundo*); В – вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia*); Б – береза повислая (*Betula pendula*); Бркл – бересклет европейский (*Euonymus europaeus*); Бр.млк – боярышник мелкоплодный (*Crataegus sanguinea*).

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования были начаты в 2010 году на базе лесных полос Каменной Степи, где в лесной полосе № 109 в 2009 году была проведена вырубка деревьев для прокладки трелевочных волоков. Направление лесной поросы с севера на юг, ширина 13,5 м, состав насаждения 4Т2Ко2Кя1Д1Яп. Трелевочные волоки прокладывались через 50 м друг от друга под углом 45° к направлению лесной полосы.

В июле 2010 года было произведено опрыскивание отрастающей поросли на 3 волоках с по-

мощью ранцевого опрыскивателя раствором раундапа (36 %), разбавленного водой в пропорции 1:200 (согласно инструкции по применению). На 1 волоке (1 вариант) расход раствора составлял 1850 л/га, на 2 волоке (2 вариант) – 925 л/га, на 3 волоке (3 вариант) – 555 л/га, 4 волок – в качестве контроля. В конце августа была произведена инвентаризация на опыте (табл. 2). В таблице диаметры указаны на высоте 1,3 м, если высота поросли выше 1,3 м, а при высоте поросли ниже 1,3 м диаметр указан в месте прикрепления поросли к пню [12].

Учет поросли клена ясенелистного на вариантах опыта

Варианты и характеристика работ	Год учета	Количество пней, шт./га		Средний диаметр пня, см (M±m)	Среднее количество поросли на пне, шт.	Средняя		Биомасса, кг/га
		с порослью	без поросли			высота, м (M±m)	диаметр, см (M±m)	
1 (Контроль). Рубка в 2012 г. Наблюдения за отращиванием поросли	2013	833	-	11.2±0,5	7	1.8±0,1	1.6±0,1	2015
	2014	833	-	11.2±0,5	7	3.5±0,1	2.5±0,15	5578
	2019	833	-	11.2±0,5	7	7.1±0,2	8.4±0,5	17570
2 (Механический способ). Рубка в 2012 г., осенью корчевка пней с вывозкой, осенью 2013 г. планировка площади и вспашка	2012	860	-	10.3±0,4	8	1.6±0,1	1.2±0,1	1840
	2013	Само-сев	-	-	-	1.15±0,5	0.8±0,1	446
	2014	-	-	-	-	-	-	-
	2019	-	-	-	-	-	-	-
3 (Химический способ). Инъекция гербицида в стволы деревьев в июне 2012 г., осенью вырубка этих деревьев с последующим наблюдением за отрастающей порослью	2012	-	733	11.6±0,6	-	-	-	-
	2013	496	237	11.6±0,6	18	0.12±0,01	0.3±0,03	44
	2014	496	237	11.6±0,6	15	0.33±0,02	0.5±0,03	150
	2019	496	237	11.6±0,6	10	5.22±0,1	4.5±0,2	8930
4 (Химический способ). В 2012 г. обработка поверхностей свежих пней гербицидом	2012	388	495	12.1±0,5	15	0.16±0,01	0.5±0,02	36
	2013	510	323	12.1±0,5	14	1.43±0,05	0.3±0,02	965
	2014	само-сев	883	12.1±0,5	-	0.23±0,01	0.2 0,01	15
	2019	само-сев	883	12.1±0,5	-	2.15±0,05	1.5±0,1	387

Анализируя табл. 2, можно сделать вывод, что при расходе рабочего раствора 1850 л/га (наибольший) на первом варианте через месяц после опрыскивания усыхание поросли было максимальным по сравнению с другими вариантами, а такие породы, как клен ясенелистный и бузина, уничтожены полностью. На третьем варианте с наименьшим расходом раствора полное поражение растительности составило от 9 до 18 %. В 2019 г. после

обследования всех вариантов было выявлено, что количество самосева и поросли на 1 и 2 вариантах оказалось почти одинаковым по сравнению с 2010 г. и только на 3 варианте произошло увеличение на 25 %. Средние высоты по породам на вариантах отличались мало, а на контроле высота ясеня была выше на 55-63 %, а клена остролистного – на 14-24 %.

В 2012 году был заложен опыт по выявлению наиболее экономичного и эффективного способа борьбы с порослевым возобновлением в опушках лесных полос (табл. 3).

Основным объектом исследований послужила восточная опушка полезащитной лесной полосы № 42. Ширина опушки 18 м, состоит она в основном из клена ясенелистного, реже – ясеня пушистого и вяза. Эта полоса заложена Г.Ф. Морозовым в 1900 году. Состав насаждения – 6Яп2Д2Б.

Было заложено 4 варианта. 1 вариант (контроль): на этом варианте в 2012 г. проведена вырубка порослевых деревьев с последующим наблюдением за отращиванием поросли.

На 2 варианте проведено испытание механического способа борьбы с порослью. В апреле 2012 г. вырубил деревья в опушке, после чего осенью провели корчевку пней трактором ДТ-75 с помощью отвала и вывозили их для утилизации. В 2013 г. на раскорчеванной площади осуществили планировку трактором «Беларусь», а затем вспашку.

На 3 варианте (химический способ борьбы) была произведена инъекция раундапа (36 %) в стволы деревьев в начале июня 2012 года согласно методике. Для этого на стволах деревьев, отмеченных в рубку, по периметру через 6-8 см друг от друга были сделаны насечки топориком с шириной лезвия 5 см. Затем с помощью шприца ввели в каждую насечку по 1 мл препарата. Через 2 недели листья начали менять окраску до бледно-желтой и усыхать, а через 3 недели наблюдалось их интенсивное осыпание. В начале октября все деревья на варианте были спилены. При появлении поросли проведены наблюдения за ее ростом.

На 4 варианте (химический способ борьбы) изучалось влияние раундапа на появление поросли на пнях после рубки деревьев. Валку деревьев провели в июне 2012 года, после чего с помощью мягкой кисти сразу же нанесли препарат на периферическую часть среза пня в районе камбия. Осенью этого же года была обнаружена угнетенная поросль со средней высотой 16 см на 30 % пней, а уже на следующий год эта поросль погибла и более не возобновлялась. В 2015 году было замечено начало разложения пней на варианте, появился в небольшом количестве самосев вяза и ясеня.

Для определения наиболее экономичного способа борьбы с порослью на опушках защитных лесных полос и трелевочных волоках составлена смета расходов на выполнение работ (табл. 4). При расчете принимали во внимание прямые денежные затраты на 1 га (зарплата с начислениями), а также дополнительные затраты (стоимость топлива, гербицида, расходы на спецодежду). Использовали «Типовые нормы и расценки на рубки ухода за лесом в различных условиях», «Нормы выработки на корчевку пней».

В таблице не указаны виды работ, связанные с валкой деревьев (валка деревьев, обрезка сучьев и вершин, сбор и сжигание порубочных остатков, раскряжевка хлыстов), так как эти работы присутствуют в каждом из способов.

Анализируя таблицу, можно сделать вывод, что лучшим способом борьбы с нежелательным порослевым возобновлением является обработка свежих пней гербицидом Раундап. По сравнению с другими химическими способами он имеет минимальные затраты труда и денежных средств на его применение, не говоря уже о механическом способе. Таким образом, эффективность обработки свежих пней гербицидом в 23 раза выше, чем использование инъекций в стволы деревьев (сравнивая биомассу, табл. 3).

Заключение

Результаты проведенных опытов позволяют рекомендовать раундап как наиболее эффективный и экологически безопасный способ борьбы с нежелательной порослью в защитных лесных насаждениях Центрального Черноземья.

Благодарности

Выражаем особую благодарность проректору по науке и инновациям ФГБОУ ВО «ВГЛУ» С.С. Морковиной за помощь в организации и подготовке статьи.

Природопользование

Таблица 4

Смета расходов на выполнение работ различными способами борьбы с порослью древесно-кустарниковой растительности

Способ	Вид работ	Затраты труда, ч/дн.	Оплата тру- да, руб, ч/дн.	Стоимость 1 га, руб.
1 (Химический). Обработка свежих пней гербицидом	Обработка пней гербицидом.	2.2	407	895.4
	Дополнительные расходы: стоимость препарата (5 л), спецодежда (респиратор, резиновые пер- чатки, защитные очки)	-	-	4665.0
		-	-	270.0
	Итого	2.2	-	5830.4
2 (Химический). Инъекция герби- цида в ствол дере- ва	Инъектирование деревьев.	10.0	407	4070.0
	Дополнительные расходы: стоимость препарата (3 л), спецодежда (респиратор, резиновые пер- чатки, защитные очки)	-	-	2799.0
		-	-	270.0
	Итого	10.0	-	7139.0
3 (Химический). Опрыскивание гербицидом поросли после рубки	Опрыскивание поросли гербицидом	3.0	407	1221.0
	Дополнительные расходы: стоимость препарата (9 л), спецодежда (респиратор, резиновые пер- чатки, защитные очки)	-	-	8397.0
		-	-	270.0
	Итого	3.0	-	9888.0
4 (Механический). Вырубка с после- дующей корчев- кой пней	Корчевка пней	7.1	468	3322.0
	Погрузка выкорчеванных пней	14.0	440	6160.0
	Перевозка пней на авто	14.7	407	5982.9
	Планировка площади трактором	1.0	468	468.0
	Вспашка	1.0	468	468.0
	Стоимость топлива	-	-	22833.0
	Итого	37.8	-	39234.7

Библиографический список

1. Чеканышкин, А. С. Состояние защитного лесоразведения в Центрально-Черноземной зоне / А. С. Чеканышкин, А. А. Лепехин // Лесной журнал. – 2015. – № 4. – С. 9–18.
2. Тунякин, В. Д. Новое о лесообразовательном процессе в лесных полосах Каменной Степи / В. Д. Тунякин, В. С. Вавин, Н. В. Рыбалкина // Лесной журнал. – 2018. – № 6. – С. 89–99.
3. Hytonen, J. Long-term response of weed control intensity on Scots pine survival, growth and nutrition on former arable land / J. Hytonen, P. Jylha // European Journal of Forest Research. – 2011. – Vol. 130. – P. 91–98.
4. Cap, M. C. Effects of application date and rate of foliar-applied glyphosate on pine seedlings in Turkey / M. C. Cap, D. Esen // Journal of Forestry Research. – 2018. – Vol. 29. – № 3. – P. 583–591.
5. Hytonen, J. Fifteen-year response of weed control intensity and seedling type on Norway spruce survival and growth on arable land / J. Hytonen, P. Jylha // Silva Fennica. – 2008. – Vol. 42. – № 242. – P. 355–368.
6. Glyphosate reduces spore viability and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi / M. Druille, M. N. Cabello, M. Omalini, R. A. Golluscio // Applied Soil Ecology. – 2013. – № 64. – P. 99–103.

7. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, precipitation / W. A. Battaglin, M. T. Meuer, K. M. Kuivila, J. E. Dietze // *Journal of the American Water Resources Association*. – 2014. – № 2. – P. 275–290.
8. European Food Safety Authority. – URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/151112>.
9. Бельков, В. П. Лесохозяйственная и экономическая эффективность химического метода регулирования состава / В. П. Бельков, Г. И. Мальцев, Л. И. Баркова // *Лесное хозяйство*. – 1989. – № 3. – С. 35–37.
10. Патент № 2253224 Российская Федерация, МПК АООГ23/00. Способ предотвращения порослевого возобновления древесно-кустарниковой растительности: № 2009121215/23 : заявл. 05.30.2005 ; опубл. 20.11.2006 / С. М. Львов, М. В. Шашова ; заявитель и патентообладатель С. М. Львов, М. В. Шашова. – 26 с.
11. Жариков, М. Г. Эколого-токсикологическая оценка многолетнего применения глифосата на дерново-подзолистой почве и биоремедиация загрязненных территорий : специальность 06.01.07 «Защита растений» : дис. ... канд. биол. наук: защищена 01.12.2010 / Жариков Михаил Геннадьевич ; ГНУ ВНИИ Фитопатологии. – Москва, 2012. – 156 с.
12. Лозовой, А. Д. Таксация тонкомерного леса и недревесного сырья : справ. пособие / А. Д. Лозовой, В. А. Бугаев, А. Н. Смольянов. – Воронеж, 1990. – 248 с.

References

1. Chekanyshkin A.S., Lepekhin A.A. (2015) *Sostoyanie zashchitnogo lesorazvedeniya v Tsentral'no-Chernozemnoy zone* [State of protective afforestation in the Central Chernozem zone]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], no. 4, pp. 9-18 (in Russian).
2. Tunyakin V.D., Vavin V.S., Rybalkina N.V. (2018) *Novoe o lesobrazovatel'nom protsesse v lesnykh polosakh Kamennoy Stepi* [New about the forest formation process in the forest belts of the Kamennaya Steppe] *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], no. 6, pp. 89-99 (in Russian).
3. Hytonen J., Jyhla P. (2011) Long-term response of weed control intensity on Scots pine survival, growth and nutrition on former arable land. *European Journal of Forest Research*, Vol. 130, pp. 91-98.
4. Cap M.C., Esen D. (2018) Effects of application date and rate of foliar-applied glyphosate on pine seedlings in Turkey. *Journal of Forestry Research*, Vol. 29, № 3, pp. 583-591.
5. Hytonen J., Jylha P. (2008) Fifteen-year response of weed control intensity and seedling type on Norway spruce survival and growth on arable land. *Silva Fennica*, Vol. 42, № 242, pp. 355-368.
6. Druille M., Cabello M.N., Omalini M., Golluscio R.A. (2013) Glyphosate reduces spore viability and root colonization of arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Soil Ecology*, № 64, pp. 99-103.
7. Battaglin W.A., Meuer M.T., Kuivila K.M., Dietze J.E. (2014) Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, precipitation. *Journal of the American Water Resources Association*, № 2, pp. 275-290.
8. European Food Safety Authority. URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/151112>.
9. Bel'kov V.P., Mal'tsev G.I., Barkova L.I. (1989) *Lesokhozyaystvennaya i ekonomicheskaya effektivnost' khimicheskogo metoda regulirovaniya sostava* [Forestry and economic efficiency of the chemical composition control method]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], no. 3, pp. 35-37 (in Russian).
10. Patent No. 2253224 Russian Federation, IPC АООГ23 / 00. Method to prevent coppice regeneration of tree and shrub vegetation: No. 2009121215/23: declared 05.30.2005; publ. 20.11. 2006 / S.M. Lvov, M.V. Shashova; applicant and patentee S.M. Lvov, M.V. Shashova. 26 p.

11. Zharikov M.G. Ecological and toxicological assessment of long-term use of glyphosate on sod-podzolic soil and bioremediation of contaminated areas: specialty 06.01.07 "Plant protection": PhD (Biology) thesis. Moscow, 2012. 156 p. (in Russian).
12. Lozovoy A.D., Bugaev V.A., Smolyanov A.N. Taxation of small-sized forests and non-wood raw materials: ref. manual. Voronezh, 1990. 248 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Попов Александр Васильевич – научный сотрудник ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП», 2 участок Института В.В. Докучаева, Таловский район, Воронежская область, Российская Федерация; e-mail: gjgjdktc@mail.ru.

Рыбалкина Наталья Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, ВРИО заместителя директора по научной работе ФГБНУ «НИИСХ ЦЧП», 2 участок Института В.В. Докучаева, Таловский район, Воронежская область, Российская Федерация; e-mail: ksolnauka@mail.ru.

Information about authors

Popov Aleksandr Vasilyevich – Researcher of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Agriculture and Chip", Section 2 of the V.V. Dokuchaev Institute, Talovskiy district, Voronezh Region, Russian Federation; e-mail: hjhjdktc@mail.ru.

Rybalkina Natalia Vladimirovna – PhD (Agriculture), Acting Deputy Director of Science work, Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Agriculture and Chip", Section 2 of the V.V. Dokuchaev Institute, Talovskiy district, Voronezh Region, Russian Federation; e-mail: ksolnauka@mail.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ СТВОЛОВ *PINUS SYLVESTRIS* L.

доктор сельскохозяйственных наук **Е.М. Рунова**

кандидат технических наук **И.А. Гарус**

аспирант **А.Н. Мухачева**

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Российская Федерация

Оценка состояния качества стволовой древесины в условиях городской среды является актуальной в связи с тем, что деревья, поваленные при усиленной ветровой нагрузке, причиняют огромный ущерб городскому хозяйству, приводят к человеческим жертвам. Целью исследований являлась оценка жизнеспособности растущих деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с использованием методов импульсной томографии и измерения сопротивления сверлению. Исследования проводились в участках хвойного леса, включенных в застройку при строительстве города. Для исследования ствола методом импульсной томографии использовалось оборудование немецкой фирмы RINNTECH – Arbotom®. Для оценки относительной плотности стволовой древесины использовался метод сверления с использованием прибора Resistograph® 4450. Всего было обследовано 20 модельных деревьев: по 10 деревьев на 2 опытных площадках. Для каждого дерева составлялось инструментально-визуальное описание: определялись высота, диаметр, обхват ствола у шейки корня и на высоте груди; визуально определялись форма и протяженность кроны, форма ствола, наличие видимых пороков ствола. На основании данных инструментального исследования качества стволовой древесины сосны обыкновенной в возрасте 60-70 лет в условиях интенсивного воздействия промышленных выбросов и рекреационной нагрузки установлено, что средняя скорость прохождения звукового импульса в древесине исследованных модельных деревьев колеблется в диапазоне 1003-1349 м/с. В структуре распределения плотности четко определяются зоны локальных деструкций древесины. Сравнение результатов, полученных двумя различными методами оценки состояния древесины на одном объекте, показывает высокую степень сопоставимости. Параллельное использование двух измерительных приборов при оценке состояния растущего дерева повышает точность полученных данных и позволяет с большей достоверностью определить аварийные деревья, области их максимальной деструкции и, как следствие, наиболее вероятное направление падения.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, импульсная томография, сопротивление сверлению, состояние древесины ствола, резистограмма

APPLICATION OF INSTRUMENTAL METHODS IN TRUNKS ASSESSMENT OF *PINUS SYLVESTRIS* L.

DSc (Agriculture) **E.M. Runova**

PhD (Engineering) **I.A. Garus**

post-graduate student **A.N. Mukhacheva**

FSBEI HE "Bratsk State University", Bratsk, Russian Federation

Abstract

Assessment of stem wood quality in urban environment is relevant due to the fact that trees felled under increased wind load cause enormous damage to the city economy and lead to human losses. The aim of the study was to assess the viability of growing Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) trees using pulsed tomography and drilling resistance measurements. Research in coniferous forest plots included the development during the construction of the city.

Arbotom® equipment of the German company RINNTECH was used to study the trunk by pulsed tomography. Drilling method was used (Resistograph® 4450 device) to estimate the relative density of the stem wood. A total of 20 model trees were examined: 10 trees each on 2 test plots. An instrumental-visual description was compiled for each tree: height and diameter, girth of the trunk at the root neck and at breast height, the shape and length of the crown, the shape of the trunk, the presence of visible defects in the trunk were visually determined. It was found that the average speed of sound pulse in the wood of the studied model trees fluctuates in the range of 1003-1349 m/s. The research based on the data of instrumental study of the quality of stem wood (Scots pine) at the age of 60-70 under the conditions of intense exposure to industrial emissions and recreational load. Zones of local wood destruction have been clearly defined in the structure of the density distribution. Comparison of the results (obtained by two different assessment methods of wood state at the same object) shows high degree of comparability. The parallel use of two measuring instruments in assessing the growing tree state increases the accuracy of the obtained data and enables more reliable determination of emergency trees, areas of their maximum destruction and, as a consequence, the most probable direction of tree fall.

Keywords: Scots pine, impulse tomography, drilling resistance, stem wood condition, resistogram

Введение

Цель работы: изучить состояние модельных деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с использованием методов импульсной томографии и измерения сопротивления сверлению, оценить сопоставимость результатов и необходимость комбинирования методик для осуществления оценки жизнеспособности растущих деревьев.

Место проведения исследования: город Братск Иркутской области, жилой район Энергетик, участки хвойного леса, включенные в застройку при строительстве города (рис. 1). С учетом ценности городских древесных насаждений, затруднительности их замены и повышенной внешней нагрузки на них перспективным представляется развитие и внедрение неинвазивных или минимально инвазивных методов оценки качества древесины [3, 5–7].

Метод оценки сопротивления сверлению нельзя отнести к неинвазивным, так как происходит практически сквозное проникновение сверла в толщу ствола, однако риск развития негативных последствий при таком вмешательстве значительно ниже, чем при взятии керна.

Точность определения положения структурных элементов в древесине при использовании акустической томографии уступает оборудованию на основе методов сверления. Однако позволяет при этом дать более полную картину расположения элементов относительно друг друга в плоскости.

На данный момент применение акустической томографии является наиболее перспективным из инструментальных методов контроля дре-

весины для ценных растений. Опубликованные в настоящее время исследования, на основе использования ARBOTOM® немногочисленны [8–10, 13, 15]. Для расширения применения методики необходимо формирование информационной базы типовых значений для здоровой древесины различных видов и дефектов различной природы [4, 11, 12, 14].



Рис. 1. Местоположение пробных площадок (по данным сайта <http://maps.fsc.ru/>)

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны модельные деревья *Pinus sylvestris* L. (сосны обыкновенной), входящие в состав городских зеленых насаждений. Деревья имеют естественное происхождение, они были включены в городскую среду при строительстве города в 1955 г., средний возраст деревьев составляет 60-80 лет [2].

Всего было обследовано 20 модельных деревьев: по 10 деревьев на 2 опытных площадках.

Для каждого дерева составлялось инструментально-визуальное описание: с помощью высотомера – эклиметра определялась высота; с помощью мерной ленты определялся обхват ствола у шейки корня и на высоте груди; визуально определялись форма и протяженность кроны, форма ствола, наличие видимых пороков ствола.

Для оценки внутреннего состояния древесины использовались инструментальные методы неразрушающего контроля древесины – метод импульсной томографии и метод микросверления.

Для исследования ствола методом импульсной томографии использовалось оборудование немецкой фирмы RINNTECH – Arbotom®. Для проведения измерения Arbotom® по периметру ствола в одной плоскости на равном расстоянии друг от друга были размещены последовательно соединенные вибродатчики (рис. 1). Стандартным расстоянием между датчиками было принято 10 см, минимальное число датчиков составляло 9-10 шт. В случае если обхват ствола в плоскости измерения составлял менее 90 см, расстояние между датчиками сокращалось [3, 13, 14]. Измерения проводились на высоте 120-145 см. После нанесения удара по датчикам информация о скорости прохождения импульса между ними фиксировалась специальным

программным обеспечением производителя. Для снижения вероятности случайной ошибки по каждому датчику наносилось три последовательных удара равной силы. В случае превышения стандартным отклонением значения 10 % проводились дополнительные удары по датчикам. Программное обеспечение RINNTECH позволило представить полученные результаты в виде матричных значений и в виде двумерных графиков (томограмм).

Следующим этапом являлось получение данных методом сверления с использованием прибора фирмы RINNTECH – Resistograph® 4450 (рис. 2). Принцип действия прибора основан на определении сопротивления древесины сверлению. Для снижения повреждений объекта исследования в конструкции Resistograph® используется ультратонкое сверло. В процессе измерения Resistograph® в режиме реального времени выводит график изменения сопротивления в масштабе 1:1. Измерения проводились в той же плоскости, что и измерения Arbotom®.

В табл. 1 приведены таксационные показатели шести наиболее характерных для пробных площадок деревьев.



Рис. 2. Применение Arbotom® (слева) и Resistograph® (справа)
(фото авторов)

Таксационная характеристика модельных деревьев*

№	Возраст дерева, лет	Высота ствола, м	Средний общий прирост по высоте, м/год	D _{1,3} , см	Средний общий прирост по диаметру на высоте 1,3м, см/год	D _{осн} , см	Средний общий прирост по диаметру у основания ствола, см/год	Примечание
Площадка № 1								
1.2	67	24.2	0.36	35.3	0.53	40.6	0.61	Искривление ствола, асимметрия кроны
1.7	69	23.1	0.33	35.5	0.51	40.0	0.58	Ствол прямой, крона разветвленная
1.9	72	21.5	0.30	34.1	0.47	36.7	0.51	Ствол слегка искривлен, асимметрия кроны
Среднее	69.3	22.9	0.33	34.9	0.50	39.0	0.57	
Площадка № 2								
2.3	68	19.3	0.28	26.3	0.39	29.4	0.43	Ствол искривлен, сильная асимметрия кроны
2.8	62	21.4	0.34	18.5	0.30	21.3	0.34	Искривление ствола
2.9	64	19.2	0.30	24.3	0.38	28.0	0.44	Легкое искривление ствола, сухобокость
Среднее	64.7	19.7	0.31	23.0	0.37	26.2	0.40	

* собственные данные авторов

Тип леса установить невозможно, так как живой напочвенный покров или совсем отсутствует, или антропогенно изменен (преобладают злаки). На площадке 2 древостой угнетен в большей степени, чем на площадке 1, о чем свидетельствуют значения средних таксационных показателей и показателей среднего общего прироста. Деревья на второй площадке подвержены сильной антропогенной нагрузке, почва сильно уплотнена, вытоптан живой напочвенный покров, оголена корневая система растений. Все исследованные модельные деревья относятся к приспевающим деревьям. Большинство деревьев имеет наклон ствола и асимметрию кро-

ны. Часто наблюдаются видимые пороки ствола – сухобокость, механические повреждения.

В качестве примера на рис. 3-8 приведены результаты исследования шести деревьев.

На томограмме (рис. 3) указана высота закрепления датчиков (130 сантиметров от основания дерева), а также толщина ствола по направлениям сторон света (средняя толщина 35,5 см); цветовые оттенки показывают скорость распространения звука (зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения

импульса по древесине). По оси ординат указана цветовая шкала скорости прохождения звука в м/с. Стрелкой показано направление сверления резистографом. На резистограмме желтым цветом отмечено незначительное снижение плотности древесины, зеленым цветом – нормальная плотность древесины, красным – пониженная плотность древесины. По оси ординат на резистограмме указан

диаметр дерева в мм, по оси абсцисс – относительная плотность древесины в процентах. По резистограмме и томограмме можно сделать вывод о достаточно хорошем состоянии дерева, однако намечается некоторое понижение плотности (до 70,6%). В центре дерева отмечается повышение плотности ствола, что, возможно, связано с наличием сучка или трещины.

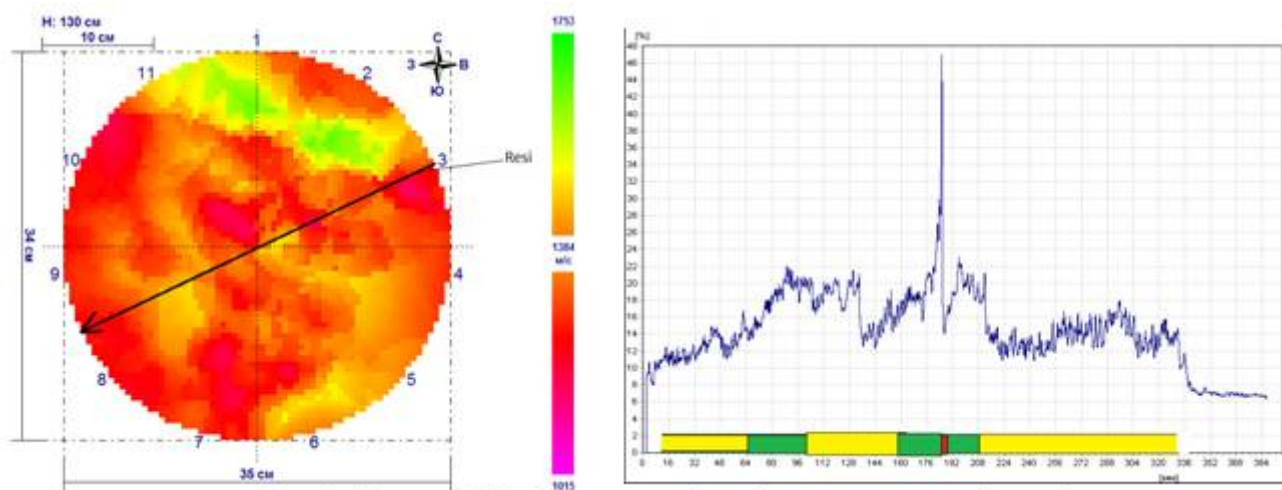


Рис. 3. Дерево № 1.2 – томограмма (слева) и резистограмма (справа)
(собственные данные авторов)

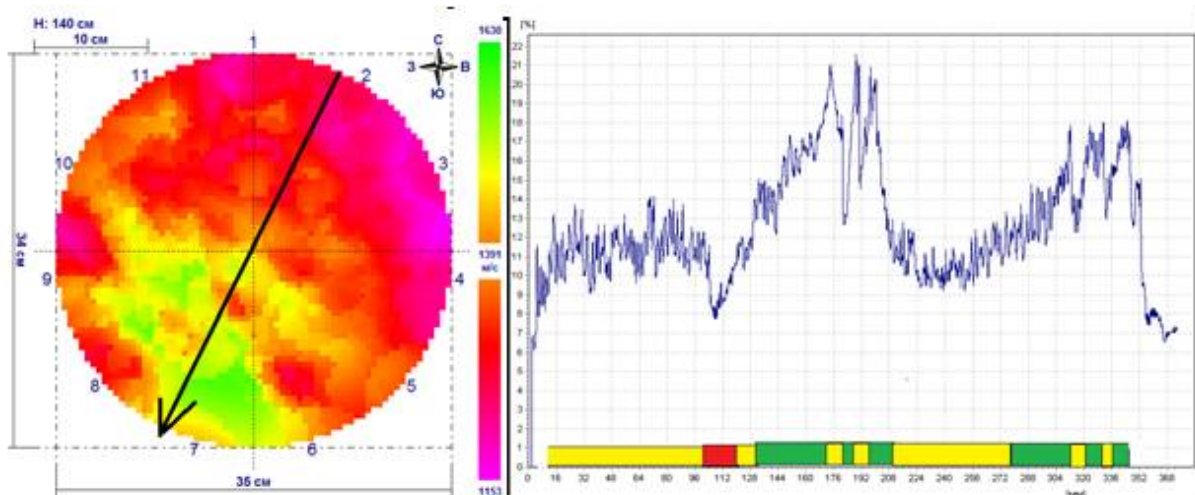


Рис. 4. Дерево № 1.7 – томограмма (слева) и резистограмма (справа)
(собственные данные авторов)

На томограмме (рис. 4) указана высота закрепления датчиков (140 см от основания дерева), а также толщина ствола по направлениям сторон света (средняя толщина 34,5 см); цветовые оттенки показывают скорость распространения звука (зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения импульса по древесине). По оси ординат указана цветовая шкала скорости прохождения звука в м/с.

Стрелкой показано направление сверления резистографом. На резистограмме желтым цветом отмечено незначительное снижение плотности древесины, зеленым цветом – нормальная плотность древесины, красным – пониженная плотность древесины. По оси ординат на резистограмме указан диаметр дерева в мм, по оси абсцисс – относительная плотность древесины в процентах. Выявлен участок со значительным понижением плотности древесины, а также значительный процент (69,3 %) древесины со слабым понижением прочности.

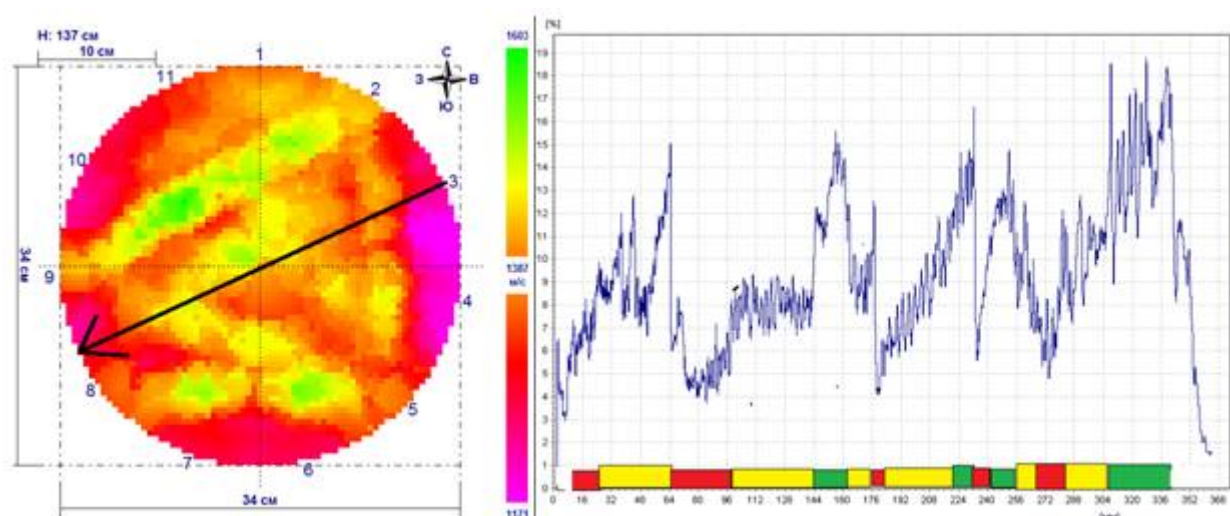


Рис. 5. Дерево № 1.9 – томограмма (слева) и резистограмма (справа)
(собственные данные авторов)

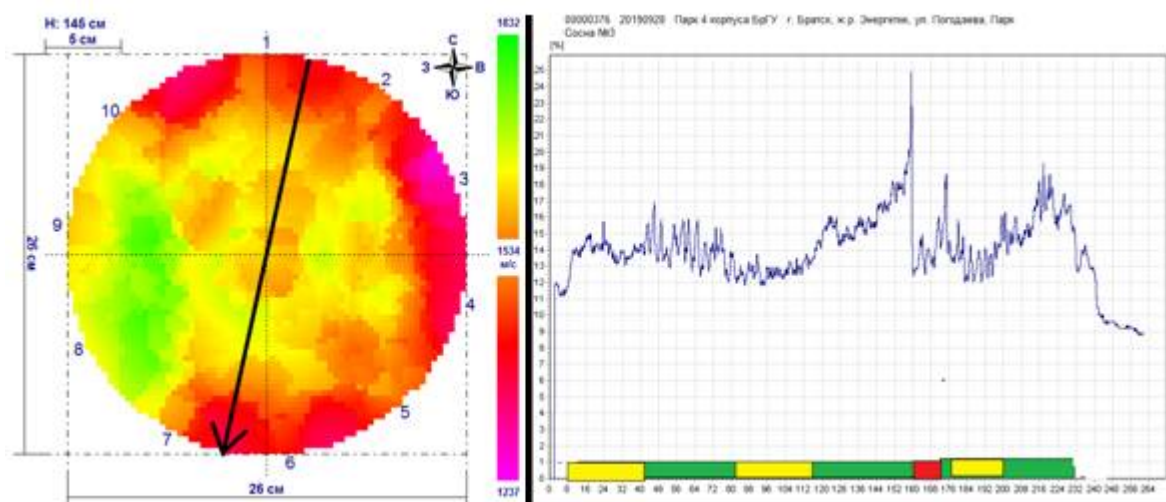


Рис. 6. Дерево № 2.3 – томограмма (слева) и резистограмма (справа)
(собственные данные авторов)

На томограмме (рис. 5) указана высота закрепления датчиков (137 см от основания дерева), а также толщина ствола по направлениям сторон света (средняя толщина 34,0 см); цветовые оттенки показывают скорость распространения звука (зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения импульса по древесине). По оси ординат указана цветовая шкала скорости прохождения звука в м/с. Стрелкой показано направление сверления резистографом. На резистограмме желтым цветом отмечено незначительное снижение плотности древесины, зеленым цветом – нормальная плотность древесины, красным – пониженная плотность древесины. По оси ординат на резистограмме указан диаметр дерева в мм, по оси абсцисс – относительная плотность древесины в процентах. Выявлен участок со значительным понижением плотности древесины, а также значительный процент (70,5 %) древесины со слабым понижением прочности. Дерево представляет существенную опасность при ветровых нагрузках.

На томограмме (рис. 6) указана высота закрепления датчиков (145 см от основания дерева), а также толщина ствола по направлениям сторон света (средняя толщина 26,0 см); цветовые оттенки показывают скорость распространения звука (зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения импульса по древесине). По оси ординат указана цветовая шкала скорости прохождения звука в м/с. Стрелкой показано направление сверления резистографом. На резистограмме желтым цветом отмечено незначительное снижение плотности древесины, зеленым цветом – нормальная плотность древесины, красным – пониженная плотность древесины. По оси ординат на резистограмме указан диаметр дерева в мм, по оси абсцисс – относительная плотность древесины в процентах. Выявлен небольшой участок со значительным понижением плотности древесины, а также значительный процент древесины со слабым понижением прочности.

На томограмме (рис. 7) указана высота закрепления датчиков (140 см от основания дерева), а также толщина ствола по направлениям сторон света (средняя толщина 18,0 см); цветовые оттенки показывают скорость распространения звука (зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения импульса по древесине). По оси ординат указана цветовая шкала скорости прохождения звука в м/с. Стрелкой показано направление сверления резистографом. На резистограмме желтым цветом отмечено незначительное снижение плотности древесины, зеленым цветом – нормальная плотность древесины, красным – пониженная плотность древесины. По оси ординат на резистограмме указан диаметр дерева в мм, по оси абсцисс – относительная плотность древесины в процентах. Выявлен участок со значительным понижением плотности древесины (28,6 %), а также значительный процент (43,4 %) древесины со слабым понижением прочности в различных частях дерева.

На томограмме (рис. 8) указана высота закрепления датчиков (120 см от основания дерева), а также толщина ствола по направлениям сторон света (средняя толщина 24,5 см); цветовые оттенки показывают скорость распространения звука (зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения импульса по древесине). По оси ординат указана цветовая шкала скорости прохождения звука в м/с. Стрелкой показано направление сверления резистографом. На резистограмме желтым цветом отмечено незначительное снижение плотности древесины, зеленым цветом – нормальная плотность древесины, красным – пониженная плотность древесины. По оси ординат на резистограмме указан диаметр дерева в мм, по оси абсцисс – относительная плотность древесины в процентах. Выявлено несколько участков со значительным понижением плотности древесины (31,3 %), а также участки древесины со слабым понижением прочности, чередующиеся с участками здоровой древесины.

Программное обеспечение Arbotom® не имеет стандартизированной градуировочной шкалы. Все полученные в рамках одного измерения значения распределяются от максимального к минимальному, формируя «плавающую» шкалу. При широкой амплитуде значений зеленый цвет характеризует более высокую скорость распространения

импульса, желтый цвет соответствует средней скорости, фиолетовый цвет характеризует замедленную скорость прохождения импульса по древесине. При однородном распределении плотности в стволе изображение формируется в диапазоне средних значений (желто-оранжевый сектор).

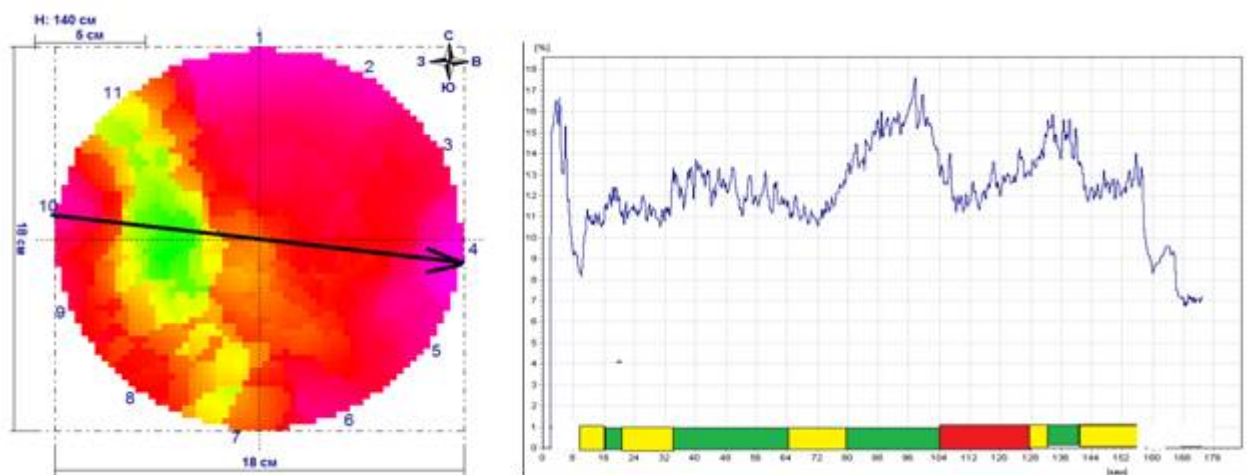


Рис. 7. Дерево № 2.8 – томограмма (слева) и резистограмма (справа)
(собственные данные авторов)

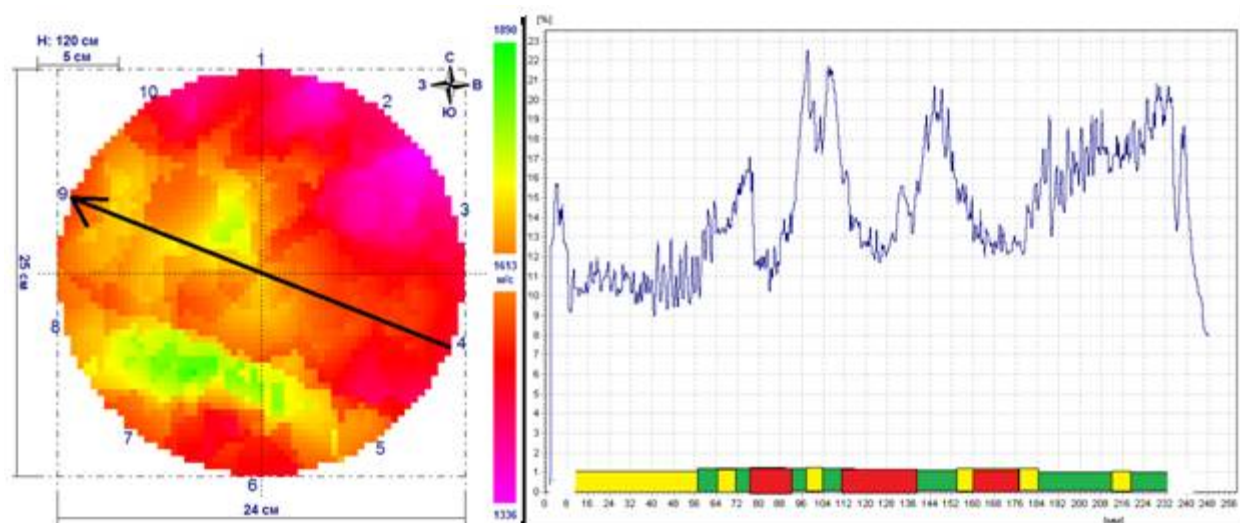


Рис. 8. Дерево № 2.9 – томограмма (слева) и резистограмма (справа)
(собственные данные авторов)

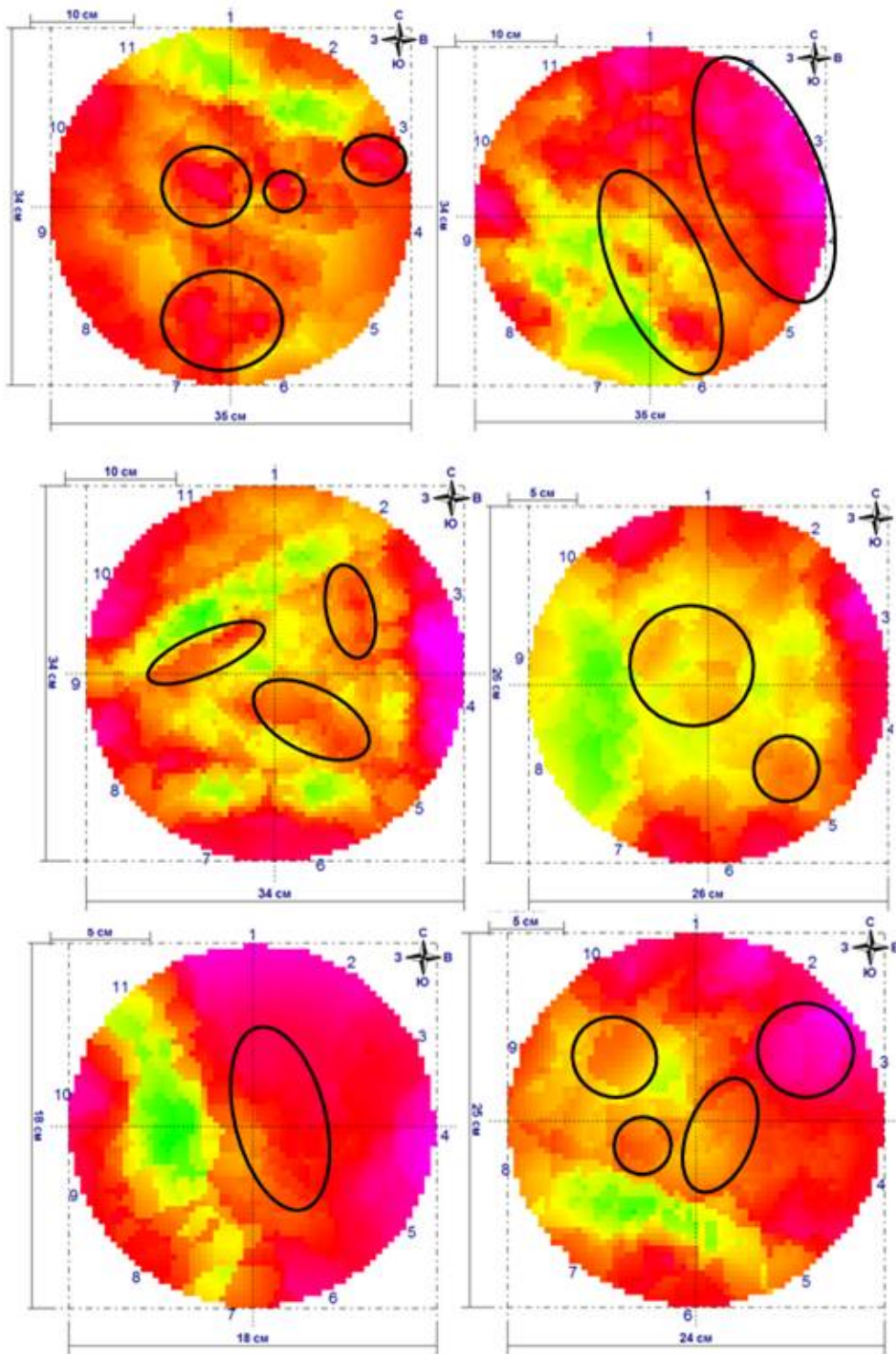


Рис. 9. Локализация внутренних деструкций древесины на томограммах (собственные данные авторов)

Отсутствие стандартизированной градуировочной шкалы, однозначно связывающей значения скорости прохождения импульса через древесину *Pinus sylvestris* L. с ее плотностью, означает невозможность прямой интерпретации томограмм на основании цветового восприятия. Цветовое распределение необходимо анализировать с учетом соотношения максимума и минимума со средним значением для породы, схемы распределения плотности по сечению ствола и ее однородности.

Характер полученных томограмм говорит о неоднородном распределении плотности древесины изученных модельных деревьев. Значения скорости прохождения варьируются от 912 м/с до 2018 м/с. Высокая неоднородность исследуемых образцов, вероятнее всего, вызвана наличием участков древесины с пониженной плотностью, механических повреждений естественной структуры древесины, повышенной нагрузки вследствие деформации ствола. Максимальная частота встречаемости приходится на диапазон значений 1031-1339 м/с (65 %) для площадки № 1 и 1028-1362 м/с (58 %) для площадки № 2. Совокупно по двум площадкам 66 % значений попадают в диапазон 1003-1349 м/с. Данные результаты ниже средних значений, полученных в аналогичных исследованиях [3], что говорит об общем снижении прочности древесины. Это может являться следствием высокой антропогенной нагрузки на зеленые насаждения селитебных территорий.

Исходя из картины распределения плотности древесины по сечению ствола можно сделать вывод об отсутствии в исследуемых образцах развитой гнили с сильным понижением плотности древесины, наличием деструктивных изменений в стволе, однако во всех рассмотренных случаях можно предположить наличие локальных зон с пониженной плотностью древесины, свидетельствующей о наличии гнили в стволах с пониженной плотностью (рис. 9).

Для анализа резистограмм также применяется цветовая схема: зеленым цветом выделена зона здоровой древесины, желтым цветом выделена начальная стадия деструкции, красным цветом выделена зона сильной развитой деструкции. По оси ординат показаны значения относительной плотности древесины, по оси абсцисс – диаметр исследуемого дерева в сантиметрах. На резистограммах хорошо заметны отличия относительной плотности ранней и поздней древесины годовичных слоев. Как видно из рис. 3-8, все исследованные модельные деревья имеют зоны внутренней деструкции. По форме проявления все видимые на резистограммах дефекты можно подразделить на локальные «разрывы» плотности (вероятно прохождение сверла через отлупные трещины между годовичными слоями) и общую деструкцию древесины (зоны развивающейся гнили). Примеры приведены на рис. 10.

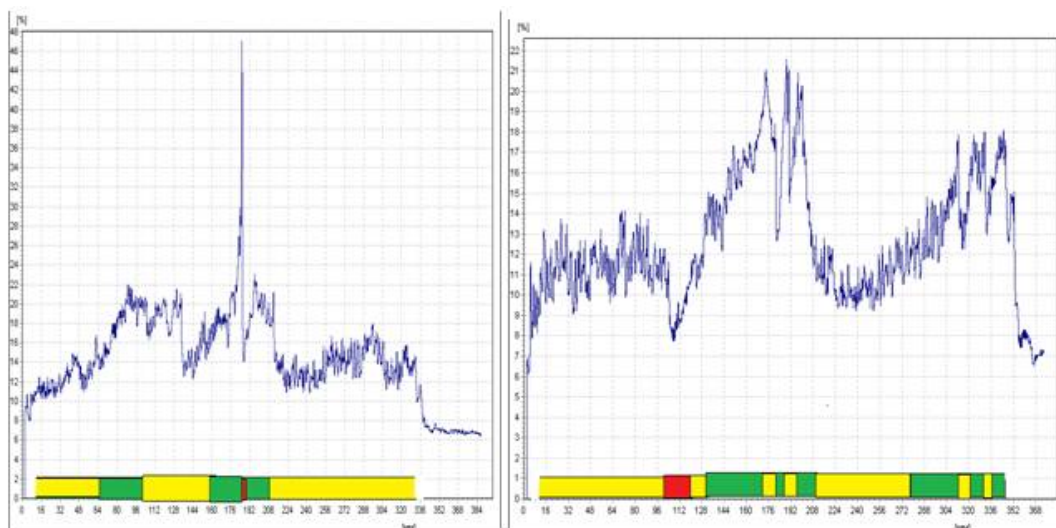


Рис. 10. Участки предполагаемых трещин и гнилей
(собственные данные авторов)

При наложении графика резистограммы на плоскостной график томограммы можно проследить их частичное совпадение. На рис. 3, 5 и 7 можно наблюдать смещение локализации деструкции на двух графиках относительно друг друга. С учетом методологических основ применяемого оборудования можно сделать предположение о наличии погрешности в определении точного распределения плотности при использовании метода импульсной томографии.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что в условиях урбоэкосистем (повышенный уровень загрязнения, высокая степень уплотнения почвы, отсутствие характерного для леса живого напочвенного покрова, большое количество механических повреждений ствола) деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), оказавшиеся в черте городской застройки, со временем теряют свою устойчивость и к возрасту 60-80 лет проявляют признаки старения и естественного отмирания. В естественных условиях продолжительность жизни сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) составляет 350-600 лет [1], таким образом, продолжительность жизни сосны в городских условиях сокращается примерно в 3-5 раз по сравнению с естественными условиями леса. Предложена методика сопоставления результатов двух инструментальных измерений качества стволовой древесины сосны обыкновенной с использованием малоинвазивных технологий, проводимых одновременно на одних и тех же участках ствола модельных деревьев. Выявлены зоны локализации внутренних деструкций древесины на томограммах с использованием прибора Arbotom®.

Заключение

На основании данных инструментального исследования качества стволовой древесины сосны обыкновенной в возрасте 60-70 лет в условиях интенсивного воздействия промышленных выбросов и рекреационной нагрузки можно сделать следующие выводы:

1. Все исследованные модельные деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) имеют внешние пороки ствола, которые видны при визуальном обследовании деревьев (сухобокость, механические повреждения, наклон кроны). Проведен-

ные исследования показали наличие у всех деревьев внутренних пороков, которые подтверждаются данными полученных томограмм и резистограмм. Состояние древесины свидетельствует о начале развития гнили и снижении устойчивости деревьев при ветровой нагрузке. При этом возраст деревьев не является критическим для биологических особенностей сосны обыкновенной (60-70 лет), сосна имеет продолжительность жизни в лесу 350-600 лет, но отсутствие насаждения, лесной среды, техногенная и рекреационная нагрузка сокращают продолжительность жизни городских деревьев сосны примерно в 3-5 раз.

2. Существенная разность значений скорости прохождения импульса в стволовой древесине говорит о неоднородном распределении плотности древесины по сечению ствола. Средняя скорость прохождения звукового импульса в древесине исследованных модельных деревьев колеблется в диапазоне 1003-1349 м/с. В структуре распределения плотности визуально определяются зоны локальных деструкций древесины. На основании данных полученных томограмм можно сделать вывод об общей угнетенности древесной растительности рассматриваемых пробных площадок, наличии внутренних пороков.

3. Большая амплитуда колебаний средних значений резистограмм, наличие «разрывов» в динамике графика отражает неоднородную плотность древесины, наличие внутренних пороков.

4. Сравнение результатов, полученных двумя различными методами оценки состояния древесины на одном объекте, показывает достаточную степень сопоставимости.

5. Параллельное использование двух измерительных приборов при оценке состояния растущего дерева повышает точность полученных данных и позволяет с большей достоверностью определить аварийные деревья, области их максимальной деструкции и, как следствие, наиболее вероятное направление падения.

6. В дальнейшем планируется сравнить полученные данные с данными фоновых участков леса, не ослабленных техногенными и рекреационными нагрузками.

Библиографический список

1. Булыгин, Н. Е. Дендрология / Н. Е. Булыгин, В. Т. Ярмишко. – Москва : Изд-во МГУЛ, 2002. – 528 с.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году / А. В. Крючков, Н. Г. Абарина, Е. Ю. Коновалова [и др.]. – Иркутск : Мегаринт, 2018. – 249 с.
3. Импульсно-томографная диагностика стволов в городских условиях на примере липы мелколистной / И. К. Латухина, Н. А. Бабич, А. М. Антонов, Н. О. Пастухова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2016. – № 7 (118). – С. 36–40.
4. Мельничук, И. А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии АРБОТОМ® / И. А. Мельничук, М. Й. С. Йассин, О. А. Черданцева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2012. – № 5. – С. 25–32.
5. Рунова, Е. М. Комплексная оценка экологического состояния древесных растений урбоэкосистемы Братска по интегральному показателю устойчивости / Е. М. Рунова, И. И. Гаврилин, М. К. Гаврилина // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – Т. 30. – № 3-4. – С. 312–315.
6. Рунова, Е. М. Инструментальная оценка состояния городских посадок тополя бальзамического / Е. М. Рунова, Л. В. Аношкина // Лесотехнический журнал. – 2017. – Т. 7. – № 3 (27). – С. 136–142.
7. Тюкавина, О. Н. О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2015. – № 4 (346). – С. 61–67.
8. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины / А. Н. Чубинский, А. А. Тамби, А. А. Федяев [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – № 2 (26). – С. 152–158.
9. Шарапов, Е. С. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению / Е. С. Шарапов, В. Ю. Чернов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – Т. 18. – № 2. – С. 89–95.
10. Literature review of acoustic and ultrasonic tomography in standing trees / A. Arciniegas, F. Prieto, L. Brancheriau, P. Lasaygues // Trees. – 2014. – № 28 (6). – P. 1559–1567.
11. Clasmeier, O. Möglichkeiten und Grenzen der kombinierten Anwendung von Schalltomographie und elektrischer Widerstandstomographie am Beispiel von Rosskastanien / O. Clasmeier, S. Rust // Jahrbuch der Baumpflege – 2012.
12. Detection of decay in injured trees of silver fir using the method of tomography / T. Trestic, A. Haskovic, A. Čabaravdić [et al.] // Works of the Faculty of Forestry University of Sarajevo. – 2015. – № 1. – P. 1–11.
13. Rinn, F. Eineneue Bohrmethode zur Holzuntersuchung // Holz-Zentralblatt. – 1989. – № 15 (34). – P. 529–530.
14. Rinn, F. Holzanatomische Grundlagen der Schall-Tomographie an Bäumen // Neue Landschaft. – 2004. – № 7/04. – P. 44–47.
15. Wessenaer, P. A Review of Tree Risk Assessment Using Minimally Invasive Technologies and Two Case Studies / P. Wessenaer, M. Richardson // Arboricultural Journal. – 2009. – № 32 (4). – P. 275–292.

References

1. Bulygin N. E., Yarmishko V. T. Dendrology. Moscow, 2002, 528 p. (in Russian).
2. Kryuchkov A.V., Abarinova N.G., Konovalova E.Yu. [et al.] State report on the state and environmental protection of the Irkutsk region in 2017. Irkutsk: Megaprint, 2018, 249 p. (in Russian).

3. Latuhina I.K., Babich N.A., Antonov A.M., Pastukhova N.O. (2016) Pulse-tomographic diagnosis of trunks in urban conditions on the example of small-leaved linden. *Vestnik Krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], no. 7 (118), pp. 36-40 (in Russian).
4. Melnichuk I.A., Yassin M.J.S., Cherdantseva O.A. (2012) Diagnosis of the internal state of *Tilia cordata* Mill. trees using the complex of acoustic ultrasound tomography equipment ARBOTOM®. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Livestock], no 5, pp. 25-32 (in Russian).
5. Runova E.M., Gavrilin I.I., Gavrilina M.K. (2012) A comprehensive assessment of the ecological state of woody plants of the Bratsk urban ecosystem by the integrated indicator of sustainability. *Hvojnye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal zone], V. 30, no. 3-4, pp. 312-315 (in Russian).
6. Runova E.M., Anoshkina L.V. (2017) Instrumental assessment of the state of urban planting of balsamic poplar. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 7, no. 3 (27), pp. 136-142 (in Russian).
7. Tyukavina O.N. (2015) On methods for interpreting the results of acoustic tomography of pine wood. *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest magazine], no. 4 (346), pp. 61-67 (in Russian).
8. Chubinsky A. N., Tambi A. A., Fedyaev A. A. (et al.) (2015) Directions for the use of physical methods for controlling the structure and properties of wood. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], no. 2 (26), pp. 152-158 (in Russian).
9. Sharapov E.S., Chernov V.Yu. (2014) Comparative analysis of methods for determining the density of wood using x-ray radiation and a device for measuring drilling resistance. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik], Vol. 18, no. 2, pp. 89-95 (in Russian).
10. Arciniegas A., Prieto F., Brancheriau L., Lasaygues P. (2014) Literature review of acoustic and ultrasonic tomography in standing trees. *Trees*, no. 28 (6), pp. 1559-1567.
11. Clasmeier O., Rust S. Möglichkeiten und Grenzen der kombinierten Anwendung von Schalltomographie und elektrischer Widerstandstomographie am Beispiel von Rosskastanien. *Jahrbuch der Baumpflege*. 2012.
12. Trestic T., Haskovic A., Čabaravdić A., Mujezinović O., Zahirović K. (2015) Detection of decay in injured trees of silver fir using the method of tomography. *Works of the Faculty of Forestry University of Sarajevo*, no. 1, pp. 1-11.
13. Rinn F. (1989) Eineneue Bohrmethode zur Holzuntersuchung. *Holz-Zentralblatt*, no. 15 (34), pp. 529-530.
14. Rinn F. (2004) Holzanatomische Grundlagen der Schall-Tomographie an Bäumen. *Neue Landschaft*, no. 7/04, pp. 44-47.
15. Wessenaer P., Richardson M.A. (2009) Review of Tree Risk Assessment Using Minimally Invasive Technologies and Two Case Studies. *Arboricultural Journal*, no. 32 (4), pp. 275-292.

Сведения об авторах

Рунова Елена Михайловна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Российская Федерация; e-mail: runova0710@mail.ru.

Гарус Иван Александрович – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Российская Федерация; e-mail: ivan-garus@yandex.ru.

Мухачева Анастасия Николаевна – аспирант базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», г. Братск, Российская Федерация; e-mail: mukhacheva.an@gmail.com.

Information about authors

Runova Elena Mikhailovna – DSc (Agriculture), Professor, Professor of the basic department of reproduction and processing of forest resources, FSBEI HE "Bratsk State University", Bratsk, Russian Federation; e-mail: runova0710@mail.ru.

Garus Ivan Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the basic department of reproduction and processing of forest resources, FSBEI HE "Bratsk State University", Bratsk, Russian Federation; e-mail: ivan-garus@yandex.ru.

Mukhacheva Anastasia Nikolaevna – post-graduate student of the basic department of reproduction and processing of forest resources, FSBEI HE "Bratsk State University", Bratsk, Russian Federation; e-mail: mukhacheva.an@gmail.com

ПРОБЛЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЯ В РУБКУ АВАРИЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСЛЕСФОНДА

доктор сельскохозяйственных наук, доцент **В.В. Царалунга**

кандидат биологических наук **А.В. Царалунга**

магистрант **А.В. Короткая**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

В рамках обследования насаждений вдоль Большой Воронежской экологической тропы проведены исследования по определению качественных и количественных характеристик патологий на деревьях, которые не учитываются в инструктивных документах, но фактически определяют эти деревья как аварийные. Кроме стволовых гнилей и опасного наклона ствола, рекомендованных инструкциями, учитывались деревья с комлевыми дуплами, раковыми опухолями на стволе, расщеплением ствола и усохшими скелетными ветвями. Собранный материал и его анализ показали, что в случае учета деревьев с такими патологиями количество деревьев, относимых к категории аварийных, может возрасти на 62 %. Среди дополнительных патологий лидируют комлевые дупла. Указано, что кроме данных патологий, характерных для дубравных древостоев, есть еще ряд фатальных для деревьев патологий, встречающихся в других типах насаждений. Сделан вывод, что современная методика выделения аварийных деревьев несовершенна, поскольку не учитывает значительное количество древесных патологий, которые увеличивают вероятность облома или вывала дерева, что однозначно делает такие деревья аварийно опасными.

Ключевые слова: правила санитарной безопасности в лесах, аварийные деревья, стволовая гниль, раковая опухоль, комлевое дупло, расщепление ствола, скелетные ветви

THE PROBLEM TO IDENTIFY AND ASSIGN THE LOGGING OF EMERGENCY TREES IN THE TERRITORY OF STATE FOREST FUND

DSc (Agriculture), Associate Professor **V.V. Tsaralunga**

PhD (Biology) **A.V. Tsaralunga**

Master's degree student **A.V. Korotkaya**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The studies to determine the qualitative and quantitative characteristics of pathologies on trees have carried out as a part of a survey of plantations along the Big Voronezh ecological trail. These characteristics are not taken into account in the guidance documents, but in fact they define these trees as emergency ones. In addition to stem rot and dangerous trunk slope, recommended by the instructions, trees with butt hollows, cancerous tumors on the trunk, splitting of the trunk and shriveled skeletal branches were taken into account. The collected material and its analysis showed that (in case of accounting for trees with such pathologies) the number of trees classified as emergency can increase by 62 %. Among additional pathologies, butt hollows take the leading position. It is indicated that there is a number of pathologies fatal for trees found in other types of plantations (in addition to these pathologies characteristic of oak stands). It is concluded that the modern technique for identifying emergency trees is not perfect, since it does not take

into account a significant number of tree pathologies that increase the likelihood of tree breaking off or falling out, which definitely makes such trees extremely dangerous.

Keywords: sanitary safety rules in forests, emergency trees, stem rot, cancerous tumor, butt hollow, split trunk, skeletal branches

Введение

По мере увеличивающейся синантропизации отечественных лесов, особенно пригородных и в густонаселенных регионах, обостряется проблема с падением деревьев на дороги, транспорт, коммуникации, строения и т. д. И если в городских условиях проблема аварийных деревьев существует давно и относительно успешно решается [1, 3, 5, 9, 11], то на территории гослесфонда отнесение деревьев к категории аварийных и оформление их отвода в рубку имеет определенные сложности, связанные, в основном, с несовершенством методики оценки состояния дерева и излишней бюрократизацией оформления документов. В действующих правилах санитарной безопасности [4], руководствах по планированию и проведению лесопатологического обследования [8], лесопатологического мониторинга [7] и санитарно-оздоровительных мероприятий [6] приводятся только два (!) признака, по которым дерево может считаться аварийным. Это наличие гнили и (или) опасный наклон. Кроме того что это крайне ограниченный перечень фатальных для дерева патологий, способных сделать дерево аварийным, он не дифференцирован по характеру и степени развитости данных патологий.

Исходя из этого, мы задались целью (в рамках государственных контрактов № 8-10 от 18 июня 2019 года между департаментом природных ресурсов и экологии Воронежской области и Воронежским государственным лесотехническим университетом имени Г.Ф. Морозова по выявлению аварийных деревьев вдоль Большой Воронежской экологической тропы) провести исследования по определению качественных и количественных характеристик патологий на деревьях, которые не учитываются в инструктивных документах, но фактически определяют эти деревья аварийными [2, 10].

Материалы и методы

Исследования проводились в июне-августе 2019 года на территории Правобережного участко-

вого лесничества Учебно-опытного лесхоза Воронежского государственного университета имени Г.Ф. Морозова. Насаждения вдоль экологической тропы представлены, в основном, порослевыми дубравами приспевающего и спелого возраста с большой примесью (до 5 единиц) ясеня обыкновенного, клена полевого и липы мелколистной.

Обследовались деревья в полосе 100 м (по 50 м с обеих сторон от «тропы») на протяжении 7,28 км в 15 кварталах и 58 выделах. Всего было осмотрено 26 800 деревьев с диаметром на 1,3 м более 12 см. Общая площадь обследованных насаждений составила 72,8 га (табл. 1).

Выявленное аварийное дерево обмерялось (диаметр, высота), определялась его порода, описывалась патология, фиксировались координаты (широта и долгота до секунды), и ствол помечался масляной краской. Деревья, которые не попадали под категорию аварийных по действующим нормативам, но имели патологии, которые, в определенных условиях, могут стать фатальными, просто фиксировались по виду обнаруженной патологии.

Основываясь на многолетнем опыте исследований древесных патологий [12, 13], мы в качестве таких внешних признаков взяли наиболее распространенные: комлевое дупло, раковые опухоли на стволе, раздвоение ствола и усохшие толстые скелетные ветви (рис. 1). Фатальность для дерева каждого из этих внешних признаков не одинакова и зависит как от степени развитости патологии, так и от индивидуальной жизнеспособности дерева. Однако потенциально любая из этих патологий многократно увеличивает риск вывала или облома ствола, а также его расщепления или облома крупной ветви.

Каждая из дополнительных патологий учитывалась только в максимальной степени своего развития, когда угроза механического разрушения дерева или его части очевидна. Так, комлевое дупло учитывалось, когда оно не имело перспективы зарости, поскольку достигало размера, соизмеримо-

Природопользование

го с диаметром ствола, и имело полностью выгнившие внутренности (рис. 1, а). Раковые опухоли учитывались либо окаймляющие, либо трещиноватые, имеющие протяженность более диаметра ствола в месте локализации (рис. 1, б), Из деревьев с раздвоением ствола учитывались только те, в ко-

торых имеются или наметились трещины в месте раздвоения (рис. 1, в). И как аварийные фиксировались деревья с усохшими толстыми скелетными ветвями (соизмеримыми с диаметром ствола в месте крепления) и обращенными в сторону «тропы» (рис. 1, г).

Таблица 1

Участки, обследованные в процессе выявления аварийных деревьев вдоль экологической тропы в Правобережном участковом лесничестве Учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ

Квартал	Выдел	Площадь, га	Квартал	Выдел	Площадь, га
52	14,15,17,18	2,3	37	9,17,19,30	2,1
51	27,28,50	5,3	35	14	0,5
49	6,7,24,25,29,30	20,6	33	8,10,11,17,20,35,39	2,3
47	5,10	1,5	31	10,11,13,20,22	2,0
45	5,7,17,25,27,28	14,9	29	16,25	0,7
43	11,13,14,15,26,34	11,3	27	13,20,27	1,9
41	12,35	2,9	25	21,24	1,5
39	11,16,32,33,35	3,0	Итого		72,8 га

* собственные вычисления авторов

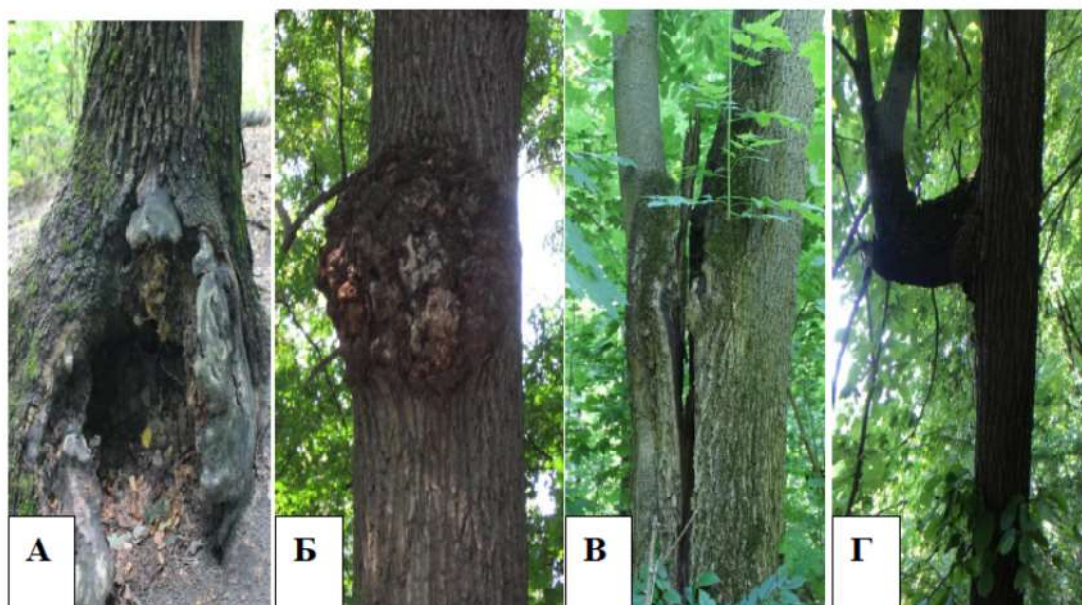


Рис. 1. Фатальные патологии, не учитываемые при определении аварийных деревьев:

а) большое комлевое дупло; б) раковая опухоль; в) расщепление ствола; г) толстые скелетные ветви (фото В.В. Царалунга)

Распределение аварийных деревьев по породам

Порода	Количество, шт. / %	Общий запас, м ³ / %	Порода	Количество, шт. / %	Общий запас, м ³ / %
Дуб	243 / 62,9	140,67 / 65,9	Ольха	9 / 2,3	5,88 / 2,8
Ясень	39 / 10,1	27,33 / 12,7	Береза	6 / 1,5	5,77 / 2,7
Клён	31 / 8,1	10,83 / 5,1	Груша	1 / 0,3	1,10 / 0,5
Липа	30 / 7,8	7,24 / 3,4	Ива	1 / 0,3	0,19 / 0,1
Осина	26 / 6,7	14,46 / 6,8	Итого:	386/100%	213,48/100,0%

*собственные вычисления авторов

Таблица 3

Распределение деревьев по признакам аварийности

Порода	Гниль, шт. / %	Наклон, м ³ / %	Порода	Гниль, шт. / %	Наклон, м ³ / %
Дуб	198 / 51,3	45 / 11,7	Ольха	8 / 2,1	1 / 0,3
Ясень	32 / 8,3	7 / 1,8	Береза	6 / 1,5	–
Клён	15 / 3,9	16 / 4,1	Груша	1 / 0,3	–
Липа	9 / 2,3	21 / 5,4	Ива	1 / 0,3	–
Осина	23 / 5,9	3 / 0,8	Итого:	386/100,0%	

*собственные вычисления авторов

Всего было выявлено 386 аварийных деревьев с явной *стволовой гнилью* (плодовые тела деструктурирующих грибов, большие выгнившие дупла на стволе) или *сильным наклоном* (более 30°) в сторону «тропы». Подавляющее большинство аварийных деревьев, и по количеству (62,9 %), и по запасу (65,9 %), приходится на деревья дуба черешчатого (табл. 2), притом, что он составляет порядка 50 % древостоя по обоим этим показателям.

Среди остальных пород аварийные деревья встречались практически в таких же пропорциях, в каких встречаются порода в обследуемом насаждении.

От общего количества деревьев, расположенных вдоль тропы, аварийными признаны только 1,44 %. Такой относительно небольшой процент обнаруженных аварийных деревьев обусловлен тем, что Правобережное участковое лесничество находится в зеленой зоне города Воронежа и в нем регулярно проводятся выборочные санитарные рубки, при которых удаляется накопившейся бурелом, ветровал и сухостой.

По признакам аварийности на всех породах преобладает стволовая гниль, к которой были приравнены все сухостойные деревья (табл. 3).

Деревья сухостойные или с хорошо развитой стволовой гнилью составили в сумме 75,9 % против доли зависших ветровальных деревьев или имеющих сильный наклон или изгиб в сторону тропы в 24,1 %.

Но, как было отмечено выше, кроме перечисленных патологий у отечественных древесных пород встречаются аномалии развития, повреждения и заболевания, которые также делают нахождение рядом с ними опасным.

В табл. 4 приводятся данные о встречаемости некоторых из них в обследованных насаждениях. С большим отрывом среди выбранных дополнительных признаков лидируют комлевые дупла (77,6 %). Обусловлено это спецификой насаждения, в котором преобладают деревья дуба черешчатого порослевого происхождения. Практически все такие деревья имеют в той или иной степени развитую комлевую гниль, не всегда выраженную в виде

комлевого дупла. Но если пришлось бы учитывать все деревья с комлевыми дуплами на исследуемой территории, а не только угрожающие вывалом в сторону тропы, то таких бы деревьев оказалось на порядок больше.

На втором месте среди этой группы признаков оказалось расщепление ствола (9,6 %). Как и в случае с комлевыми дуплами, если учитывать все деревья с опасным раздвоением ствола, а не только уже имеющие трещины, как мы это делали, то таких деревьев тоже окажется гораздо больше.

Несколько меньше было отмечено деревьев с большими раковыми опухолями (8,8 %). Однако это вполне существенная цифра, если учитывать, что такая патология практически всегда ведет к фатальному снижению механических свойств древесины в месте расположения опухоли и к неизбежному облому ствола.

Меньше всего было отмечено деревьев с толстыми скелетными ветвями, усохшими полностью или частично и нависающими над тропой (4 %). Тем не менее, исходя из практического опыта, нам известно, что захламление лесных комму-

никаций обломками крупных ветвей соизмеримо по объему с образующимся валежом.

В сумме дополнительные патологические признаки составили 62,4 % от официально зарегистрированных. Это свидетельствует о том, что перечисленные патологические признаки имеют достаточно большое распространение и оставление деревьев с такими патологиями вдоль лесных коммуникаций представляет для них реальную угрозу.

При сравнительном анализе «штатных» признаков и дополнительных (рис. 2) видно, что последние по отдельности уступают первым (кроме комлевого дупла), но в сумме вполне соизмеримы и, несомненно, требуют учета.

Следует также отметить, что есть еще ряд существенных патологий, которые увеличивают риск вывала дерева или облома его ствола, но которые мы не учитывали, поскольку в данном конкретном насаждении они не были представлены или встречались единично в местах, не угрожающих обследуемой тропе. Но они в существенном количестве могут встречаться в других типах лесных насаждений.

Таблица 4

Распределение дополнительных патологических признаков

Порода	Комлевое дупло, шт. / %	Раковая опухоль, шт. / %	Расщепление ствола, шт. / %	Толстые скелетные ветви, шт. / %	Итого, шт. / %
Дуб	141 / 58,6	9 / 3,9	11 / 4,7	3 / 1,2	164 / 68,0
Ясень	17 / 7,1	1 / 0,4	3 / 1,2	1 / 0,4	22 / 9,1
Клён	4 / 1,7	–	1 / 0,4	–	5 / 2,1
Липа	1 / 0,4	–	4 / 1,7	1 / 0,4	6 / 2,5
Осина	12 / 4,9	–	1 / 0,4	3 / 1,2	16 / 6,6
Вяз	3 / 1,2	7 / 2,9	2 / 0,8	–	12 / 4,9
Ольха	1 / 0,4	1 / 0,4	–	–	2 / 0,8
Береза	2 / 0,8	3 / 1,2	1 / 0,4	2 / 0,8	8 / 3,3
Груша	5 / 2,1	–	–	–	5 / 2,1
Ива	1 / 0,4	–	–	–	1 / 0,4
Всего	187 / 77,6	21 / 8,8	23 / 9,6	10 / 4,0	241 / 100,0

* собственные вычисления авторов

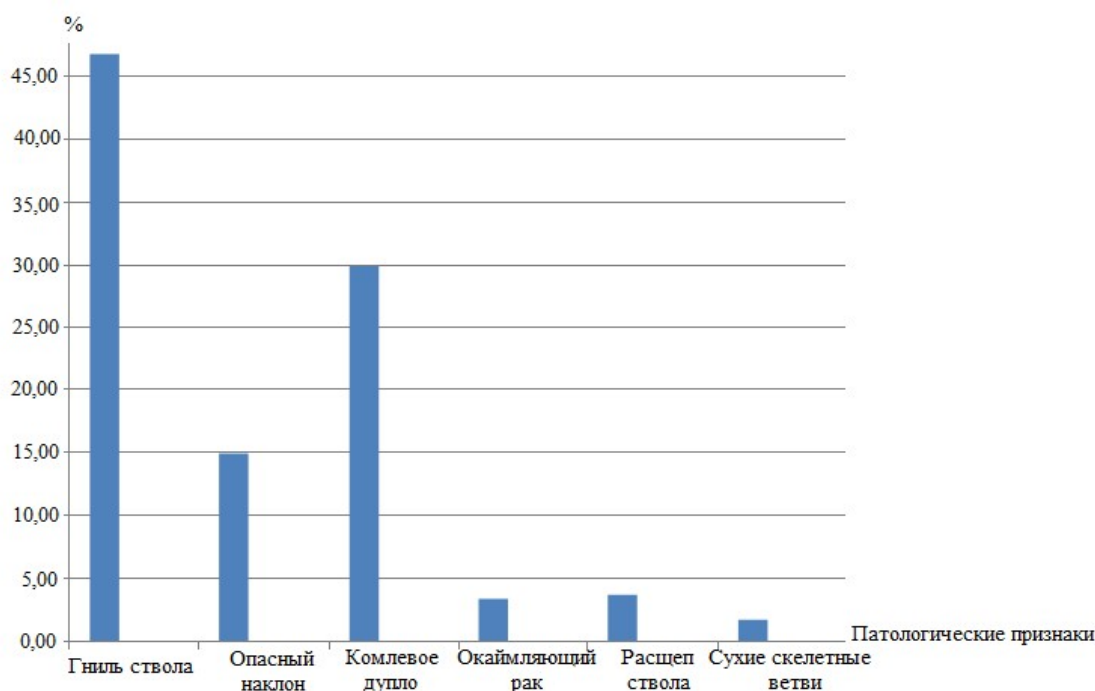


Рис. 2. Соотношение «штатных» и дополнительных патологических признаков в нагорной порослевой дубраве Правобережного участкового лесничества вдоль экологической тропы (собственные вычисления авторов)

Это не заросшие морозобойные и грозобойные трещины (рис. 3, а), большие каллусные наплывы, под которыми образуется гниль (рис. 3, б), срастание стволов, которое в обязательном порядке, рано или поздно, ведет к образованию гнили в месте срастания (рис. 3, в), и значительное оголение корней за счет вымывания и выветривания грунта, которое провоцирует вывал дерева (рис. 3, г).

Поскольку исследования проводились исключительно в однотипных насаждениях (нагорная порослевая дубрава с приспевающим и спелым древостоем), то закономерно, что в других типах насаждений могут преобладать другие фатальные патологические признаки [2, 10]. Так, в сосновых насаждениях опасными с позиций аварийности могут быть сырорастущие деревья, находящиеся на периферии очага корневой губки (*Heterobasidion annosum*) или существенно пострадавшие от низового пожара. А, к примеру, в березняках, осинниках и ольшаниках представляет аварийную опасность любое перестойное дерево, даже если оно не имеет внешних признаков, поскольку при экстремальных

погодных условиях у таких деревьев большая вероятность буре-снеголома и ветро-снеговала.

Выводы

В результате проведенных исследований можно констатировать, что современная методика выделения аварийных деревьев в насаждениях гослесфонда несовершенна, поскольку не учитывает значительное количество древесных патологий, которые увеличивают вероятность облома или вывала дерева, чем однозначно делают такие деревья аварийно опасными. Исходя из этого, целесообразно внести в перечень аварийных деревьев с развитой стволовой гнилью, опасным наклоном, обширным комлевым дуплом, окаймляющей раковой опухолью, расщепом раздвоенного ствола и усохшими скелетными ветвями.

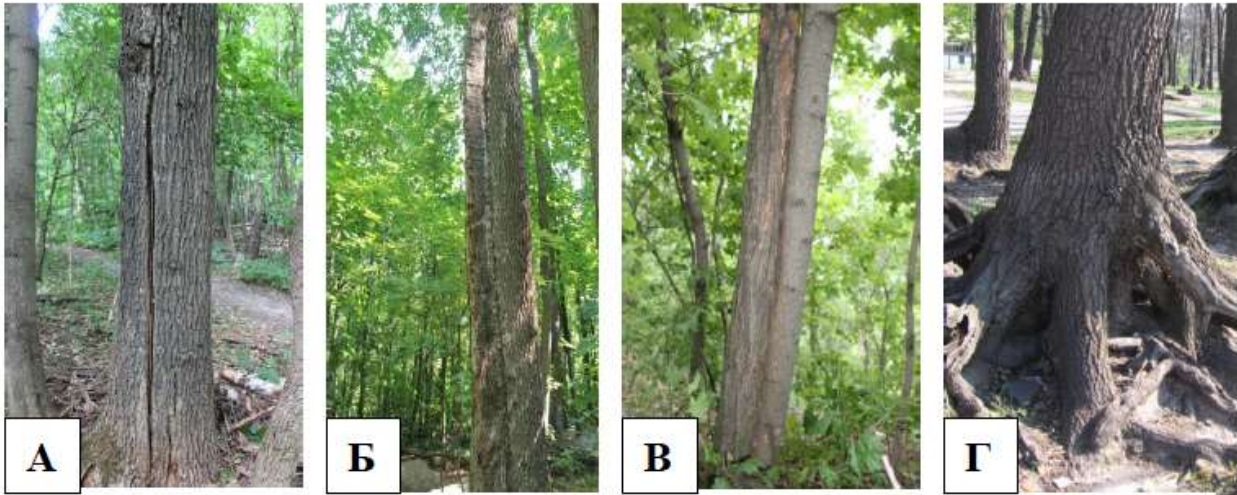


Рис. 3. Фатальные патологии, не учитываемые при определении аварийных деревьев и не фиксированные при наших исследованиях: а) не заросшие, крупные морозобойные и грозобойные трещины; б) большие каллусные наплывы на месте трещин или механических травм; в) сросшиеся стволы; г) оголенные корни (фото В.В. Царалунга)

Библиографический список

1. Аносов, Е. А. Аварийные деревья зеленых насаждений городов. Методы визуальной и инструментальной диагностики / Е. А. Аносов ; М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет». – Хабаровск, 2015. – 117 с. – Библиогр.: с. 116–117.
2. Ерзин, И. В. Оценка состояния насаждений городских парков в связи с их реконструкцией: на примере г. Москвы: специальность 03.02.08 «Экология» : автореф. дис. ... канд. биол. наук : защищена 17.11.2011 / Ерзин Иван Васильевич ; ГОУ ВПО «МГУЛ». – Москва, 2011. – 19 с.
3. Приказ Госстроя Российской Федерации от 15.12.1999 № 153 «Об утверждении Правил создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98762 (дата обращения: 11.05.2020).
4. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571 (дата обращения: 11.05.2020).
5. Houston, D. R. Dieback and declines of urban trees / D. R. Houston // Journal of Arboriculture. – 1985. – Vol. 11 (3). – P. 65–72.
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 20.05.2017 № 607 «О Правилах санитарной безопасности в лесах». – URL: <https://base.garant.ru/71685642> (дата обращения: 20.07.2020).
7. Приложение 1 к приказу Рослесхоза от 20.05.2017 № 607 «Руководство по проектированию, организации и ведению лесопатологического обследования» : утв. Рослесхозом, 2017. – 73 с.
8. Воронцов, А. И. Патология леса : моногр. / А. И. Воронцов. – Москва : Лесн. пром-сть, 1978. – 272 с. – Библиогр.: с. 251–266.
9. Boyce, J. S. Forest Pathology / J. S. Boyce ; 3 ed. – New York, 1961. – 572 p.
10. Царалунга, В. В. Внешние признаки патологии дуба черешчатого : моногр. / В. В. Царалунга, Е. С. Фурменкова, А. А. Крюкова. – Воронеж, 2015. – 231 с. – ISBN 978-5-7994-0712-4. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/858234> (дата обращения: 22.07.2020). – Режим доступа: по подписке.
11. Blanco, J. A. Forest Ecosystems – More than Just Trees / J. A. Blanco, Yueh-Hsin Lo. – Rijeka, Croatia, 2012. – 480 p. – ISBN 978-953-51-0202-1.

12. Korchagin, O. M. Oak forest bioconoses: overview of the issue of their environmental sustainability and possible ways to enhance it / O. M. Korchagin, V. V. Tsaralunga, A.V. Tsaralunga // *International Journal of Advanced Biotechnology and Research WoS*. – 2018. – Vol. 9 (4). – P. 397–402.

13. Tsaralunga, V. V. Improvement of tree condition diagnostics by external pathology characteristics / V. V. Tsaralunga, A. V. Tsaralunga, E. S. Furmenkova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. – Vol. 226. – P. 012069. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012069.

References

1. Anosov E.A. *Avaryinye derev'ya zelenykh nasazhdeniy gorodov. Metody vizual'noyi instrumental'noy diagnostiki* [Emergency trees of green spaces of cities. Methods of visual and instrumental diagnostics]. Khabarovsk, 2015. 117 p. (in Russian).

2. Erzin I.V. *Otsenka sostoyaniya nasazhdeniy gorodskikh parkov v svyazi s ikh rekonstruktsiyey: na primere g. Moskvy: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Assessment of the state of urban Park stands in connection with their reconstruction: on the example of Moscow: PhD (Biology) thesis abstr.]. Moscow, 2011. 19 p. (in Russian).

3. Order Of Gosstroy Of The Russian Federation 15.12. 1999 № 153 «*Ob utverzhdenii Pravil sozdaniya, okhrany i soderzhaniya zelenykh nasazhdeniy v gorodakh Rossiyskoy Federatsii*» [About the approval of Rules of creation, protection and maintenance of green spaces in the cities of the Russian Federation]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98762 (in Russian).

4. Federal law 06.10.2003 № 131-FZ «*Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v Rossiyskoy Federatsii*» [About the General principles of the organization of local self-government in the Russian Federation]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571 (date of access 11 May 2020) (in Russian).

5. Houston D.R. (1985) Dieback and declines of urban trees. *Journal of Arboriculture*, Vol. 11 (3), pp. 65-72.

6. Resolution of the Government of the Russian Federation of 20.05.2017 N 607 "O *Pravilakh sanitarnoy bezopasnosti v lesakh*" [On rules of sanitary safety-news in forests]. URL: <https://base.garant.ru/71685642/> (date of access 11 May 2020) (in Russian).

7. *Prilozhenie 1 k prikazu Rosleskhoza ot 20.05.2017, № 607 «Rukovodstvo po proektirovaniyu, organizatsii i vedeniyu lesopatologicheskogo obsledovaniya»* [Guidelines for the design, organization and management of forest pathology surveys], 2017. 73 p. (in Russian).

8. Vorontsov A.I. *Patologiya lesa* [Forest pathology]. Moscow, 1978. 272 p. (in Russian).

9. Boyce J.S. *Forest Pathology*; 3 ed. New York, 1961. 572 p.

10. Tsaralunga V.V., Furmenkova E.S., Kryukova A.A. *Vneshnie priznaki patologii duba chereshchatogo* [External signs of pathology of oak petiolate]. Voronezh, 2015. 231 p. (in Russian). ISBN 978-5-7994-0712-4.

11. Blanco J.A., Yueh-Hsin Lo. *Forest Ecosystems – More than Just Trees*. Rijeka, Croatia, 2012. 480 p. ISBN 978-953-51-0202-1.

12. Korchagin O.M., Tsaralunga V.V., Tsaralunga A.V. (2018) Oak forest bioconoses: overview of the issue of their environmental sustainability and possible ways to enhance it. *International journal of Advanced biotechnology and research WoS*, Vol. 9 (4), pp. 397-402.

13. Tzaralunga V.V., Tzaralunga A.V., Furmenkova E.S. Improvement of tree condition diagnostics by external pathology characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. Vol. 226: 012069. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012069.

Сведения об авторах

Царалунга Владимир Владимирович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: caralunga@bk.ru.

Царалунга Анна Викторовна – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: saralunga@yandex.ru.

Короткая Анна Владимировна – магистрант кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kor9096@mail.ru.

Information about authors

Tsaralunga Vladimir Vladimirovich – DSc (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Ecology, Protection of Forests and Forest-Hunt Conduction, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation; e-mail: caralunga@bk.ru.

Tsaralunga Anna Viktorovna – PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology, Protection of Forests and Forest-hunt conduction, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: saralunga@yandex.ru.

Korotkaya Anna Vladimirovna – Master's degree student of the Department of Ecology, Protection of Forests and Forest-hunt conduction, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: kor9096@mail.ru.

НЕЙРОНЕЧЕТКАЯ СЕТЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УСТРОЙСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ

доктор технических наук, профессор **В.В. Побединский**¹

кандидат технических наук, профессор **С.И. Булдаков**¹

кандидат технических наук **А.В. Берстнев**²

аспирант **Е.С. Анастас**¹

1 – ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,

г. Екатеринбург, Российская Федерация

2 – КБ «Новатор», г. Екатеринбург, Российская Федерация

Статья посвящена проблеме совершенствования технологий дорожного строительства, в частности технологических решений устройства лесных дорог. Как известно, в строительстве дорог выбор и обоснование технологических решений дорожного покрытия составляет один из первых этапов проектирования, от эффективности которого будет зависеть весь дальнейший проект в целом, сроки и затраты на строительство. Решение такой задачи является чрезвычайно сложным, в первую очередь, из-за множества взаимосвязанных параметров, факторов, а также неопределенностей данных в задаче. Задача значительно усложняется, когда необходимо учесть еще и экономические показатели проекта дорожного строительства. Но именно в таком виде она и представляет наибольший интерес, т. к. в практике эти характеристики зачастую являются важнейшими. По этим причинам проблема остается в полной мере не решенной, поэтому требует дальнейших исследований, как было отмечено, с учетом неопределенностей в задаче. Для такого класса задач в результате современных достижений в области математики, информационных технологий предлагаются интеллектуальные системы на основе теории нечетких множеств, нейронных сетей и их гибридных решений. Таким образом, целью настоящих исследований была разработка нейронной сети для оценки технологических решений устройства лесных дорог. Результатом исследований явилась разработка адаптивной нейронечеткой сети типа ANFIS, которая позволяет рассчитать стоимость дорожного покрытия в зависимости от основных технологических и исходных финансовых параметров. Для практического использования нейронная сеть может быть рекомендована при проектировании лесных дорог, а также для оперативной оценки эффективности различных технологических решений в ходе конкурсного (тендерного) отбора.

Ключевые слова: дорожное строительство; лесная дорога; дорожное покрытие; технологическое решение дорожного покрытия; интеллектуальная система; нейронечеткая сеть

NEURAL FUZZY NETWORK FOR ASSESSING TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR FOREST ROADS

DSc (Engineering), Professor **V V Pobedinsky**¹

PhD (Engineering), Professor **S I Buldakov**¹

PhD (Engineering) **A V Berstenev**²

post-graduate student **E S Anastas**¹

1 – FSBEI HE "Ural State Forestry University", Yekaterinburg, Russian Federation

2 – CB Novator, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to the problem of improving road construction technologies, in particular, technological solutions for logging roads. As you know, in road construction, the choice and justification of technological solutions for the road surface is one of the first stages of design, the efficiency of which affects further project as a whole, timing and costs of construction. The solution to such a problem is extremely difficult and, first of all, due to the many interrelated parameters, factors, as well as the uncertainties of data in the problem. The task becomes much more complicated when it is also necessary to take into account the economic indicators of road construction project. But it is in this form that it is of the greatest interest, since these characteristics are often the most important in practice. For these reasons, the problem remains completely unsolved. Therefore, requires further research, as noted, taking into account the uncertainties in the problem. Intelligent systems based on the theory of fuzzy sets, neural networks and their hybrid solutions are proposed for this class of problems, as a result of modern achievements in the field of mathematics and information technologies. Thus, the purpose of this research was to develop a neural network for evaluating technological solutions for logging roads. The result of the research was the development of an adaptive neuro-fuzzy network such as ANFIS, which allows calculating the cost of the road surface depending on the main technological and initial financial parameters. The neural network can be recommended for the design of forest roads, as well as for rapid assessment of the effectiveness of various technological solutions during competitive (tender) selection.

Keywords: road construction, logging, road surface, road surface technological solution, intelligent system, neural network

Введение

Одной из важнейших проблем в строительстве дорог является выбор и обоснование технологических решений дорожного покрытия. Решение такой задачи является чрезвычайно сложным, и в первую очередь, из-за множества взаимосвязанных параметров, факторов, а также неопределенностей характеристик в задаче. Задача значительно усложняется, когда необходимо учесть еще и сроки строительства и экономические показатели дорожного покрытия. Но именно в таком виде она и представляет наибольший интерес, т. к. в практике эти характеристики зачастую являются важнейшими.

Традиционно подобные задачи решаются путем упрощения, идеализации моделей, усреднения данных и даже обосновывая игнорирование

различных параметров, доказывая их несущественность. Однако все это ведет, в конечном итоге, в той или иной мере к неточности результатов. Наибольшую трудность, можно считать, вызывают неопределенность, недостаточность и даже отсутствие данных или нечеткость, как это называется в разделе математики – теории нечетких множеств (ТНМ) [8].

Обращаясь к задаче определения технологических решений дорожного покрытия, кроме большого количества расчетных параметров сталкиваемся с целым рядом неопределенностей [2]. Именно для такого класса задач используются практические приложения ТНМ – нечеткое моделирование, нечеткая логика, а также продукционные нейронечеткие сети, являющиеся математическим аппаратом интеллектуальных систем в самых различ-

ных областях человеческой деятельности [1, 3, 5–10].

Таким образом, создание способов оценки технологических решений дорожных покрытий с учетом факторов неопределенности является важной научно-практической проблемой, но отсутствие разработок по этой теме не позволяет эффективно решать проблему и является препятствием дальнейшего совершенствования технологий дорожных работ.

Целью исследований являлось совершенствование технологий дорожного строительства с использованием интеллектуальной системы для оценки технологических решений устройства лесных дорог.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

- провести анализ опыта использования приложений теории нечетких множеств, интеллектуальных систем в дорожном строительстве и смежных областях;
- провести анализ источников неопределенности в технологиях дорожных работ;
- выявить качественные закономерности влияния на стоимость строительства лесных дорог основных параметров дорожного покрытия с учетом неопределенностей и выполнить постановку задачи оценки технологических решений дорожных покрытий;
- разработать интеллектуальную систему оценки технологических решений дорожного покрытия в виде нейронечеткой сети в системе MATLAB;
- выполнить обучение нейронной сети;
- выполнить проверку адекватности модели по тестовым примерам.

1. Методы и средства исследований

В части методологии исследований использована теория проектирования дорожных покрытий и строительства лесных дорог [2]. Для учета факторов неопределенностей в постановке задачи использована теория нечетких множеств [7], а разработка интеллектуальной системы базируется на методах продукционных нейронечетких сетей гибридного типа ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [6].

2. Результаты и обсуждение

2.1. Анализ обзора исследований по теме

Вопросам совершенствования технологий дорожного строительства уделялось внимание многих исследователей. В их числе можно назвать профессоров, докторов техн. наук И.Г. Могилевича, В.Ф. Бабкова, В.П. Носова, исследовавших проблему проектирования дорог общего пользования, А.П. Васильева, В.Н. Яромко, изучавших вопросы эксплуатации, строительства дорог, В.В. Подольского в области технологии строительства и экологических аспектов зимнего содержания дорог и других ученых. Совершенствованию лесовозных дорог посвящены работы профессоров, докторов техн. наук В.В. Сиротюка, Н.П. Вырко, В.К. Кирьянова, Э.О. Салминена, Б.С. Юшкова, Ю.Д. Силукова, И.Н. Кручинина.

Проблема проектирования и строительства лесных дорог в систематизированном виде представлена в работах проф. С.И. Булдакова [2], в которых изложена методология устройства дорог такого типа. Все теоретические авторские методики подтверждены экспериментальным путем, поэтому дальнейшая теоретическая постановка задачи базировалась на этих работах.

В процессе проектирования дорожного покрытия используется большое количество параметров. Значительную сложность вызывает то, что все параметры изменяются в широких пределах. При этом параметры являются противоречивыми, т. е. при улучшении одного сразу несколько других ухудшается. Но наибольшую трудность составляет неопределенность данных, используемых в задаче проектирования. На сегодня эта проблема в строительстве дорог решается статистическими методами, однако в условиях недостаточности данных и нерепрезентативности статистических выборок, необоснованности назначения статистических распределений или просто отсутствия данных выбор технологических решений остается в полной мере нерешенной проблемой.

Для такого класса задач с учетом неопределенностей наиболее успешно используются методы нечеткой логики [7], а также интеллектуальных систем в виде экспертных систем или нейронных сетей [1, 4, 8, 9]. Несмотря на эффективность мето-

дов на основе интеллектуальных систем и нечеткой логики, в российской науке в области строительства дорог такие работы практически отсутствуют.

2.2. Постановка задачи оценки технологических решений дорожных покрытий

В практике дорожного строительства важнейшим параметром дороги следует назвать стоимость дорожного покрытия, а учитывая технологические требования, даже не всей дороги, а на длине технологической захватки. В свою очередь, длина захватки l является важнейшим технологическим параметром проекта. От выбранной ее длины будет зависеть весь процесс строительства. Поэтому она рассчитывается, в первую очередь, в зависимости от длины всей дороги, продолжительности периода строительства и объема материала на конструкцию дорожной одежды. Другим значимым параметром следует принять расстояние доставки материалов L . С последним связаны параметры числа машин N и стоимость машино-смены C . Обязательно следует включить в модель величину стоимости материалов (тонна асфальтобетона) M , что позволит в целом рассчитать стоимость конструкции дорожной одежды R в пределах технологической захватки.

Таким образом, сформулированная постановка задачи будет выглядеть следующим образом:

$$R = f(l, L, C, M).$$

Для решения задачи с использованием нейронной сети следует определить обучающие выборки входных и выходного параметров. Рекомендуемое количество примеров обучающего множества Q может быть рассчитано по формуле [3]

$$Q = 7N_x + 15, \quad (1)$$

где N_x – количество входных переменных сети.

В отношении формулы (1) автором [10] отмечается, что она приемлема для построения регрессионных моделей, а для нейронных сетей эмпирически определено достаточное количество примеров в 2-4 раза меньше.

В нашем случае обучение, т. е. обеспечение приемлемой точности, было достигнуто на 6 примерах. Исходные данные, которые были приняты по реальным проектам устройства дорог в лесных районах Свердловской области, приведены в таблице.

Таким образом, входными данными были определены длина захватки l (от 100 до 300 м), стоимость машино-смены C (от 10 400 до 12 000 руб.), стоимость материалов M (от 2450 до 3500 руб), расстояние доставки материалов L (от 11 до 38 км), численность парка машин N (от 34 до 83 ед.). Выходной переменной является стоимость дороги R_{ubl} (от 7198,55 до 17 217,76 тыс. руб.). В проектах марка или грузоподъемность машин принимается не варьируемой, т. к. парк техники на практике большей частью бывает однотипный. В данном случае во всех проектах грузоподъемность принималась равной 33 т.

2.3. Разработка нейронной сети

Интеллектуальную систему в данном случае строим в виде адаптивной нейронечеткой продукционной сети типа ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Ее преимущество перед простой нейронной сетью в том, что она обладает свойствами как продукционных нечетких систем, основанных на правилах, так и простых сетей. По этому признаку она относится к гибридным системам.

Для реализации модели использована среда `anfisedit` – один из `Toolbox` системы `MATLAB` [6]. Процесс создания сети ANFIS показан на рис. 1, а-е. Вначале создается файл формата `.dat` с исходными данными в виде матрицы (рис. 1, а) и загружается в систему (рис. 1, б). Затем определяется структура сети, основанной на правилах с нечетким выводом по методу Сугено (рис. 1, в), и выполняется корректировка лингвистических переменных для всех входных параметров (рис. 1, г). Запускается генерация сети, выводится ее структура (рис. 1, д) и созданная база правил (рис. 1, е).

После создания сети выполняется ее обучение (тренировка, как указано в меню интерфейса). В данном случае обучение обеспечило точность, если смотреть на примере первой выборки, до второго знака после запятой (рис. 2, а, б). Физически это определена стоимость дорожного покрытия с точностью до 100 руб. (см. рис. 2, б).

Таким образом, сеть настроена, и для оценки ее адекватности была выполнена проверка на тестовых примерах. Параметры тестовых примеров задавались в рабочей области `MATLAB` (рис. 2, в-д),

(на рис. 2, д результаты считываются из процедуры нечеткого вывода по базе правил). Так, для выборки $l = 100$ м, $L = 22$ км, $N = 50$ ед., $C = 10\,400$ руб., $M = 3400$ руб, $Rubl = 4551,8$ тыс. руб., получено по модели значение $Rubl = 4551,1$ тыс. руб, что совпадает с исходным значением в обучающем примере. Задавая другие тестовые примеры (рис. 2, в, г), $l = 250$ м, $L = 15$ км, $N = 34$ ед., $C = 10\,400$ руб., $M = 3400$ руб, получаем $Rubl = 12\,712$ тыс. руб, а с исходными данными (рис. 2, г) $l = 250$ м, $L = 15$ км, $N = 37$ ед., $C = 10\,400$ руб., $M = 3300$ руб., получаем $Rubl = 13\,848$ тыс. руб. Для выборки (рис. 2, д) $l = 200$ м, $L = 13$ км, $N = 71$ ед., $C = 11\,700$ руб., $M = 2820$ руб., получено по модели значение $Rubl = 2230$ тыс. руб., что также согласуется результатами проектирования.

Результаты проверки по тестовым примерам, взятым также из реальных проектов устройства дорожных покрытий, показали расхождение не более 1 %, что говорит о достаточной адекватности интеллектуальной системы. Но такая точность обеспечивается в области значений, близких к значениям обучающей выборки. По мере большего

отклонения тестовых значений от обучающих погрешность увеличивается до 8-12 %.

Этот факт объясняется малым количеством обучающих примеров. В данном случае их оказалось несколько меньше необходимого. Но в практике решение этой проблемы не вызовет трудностей, т. е. потребуется только повторить обучение с большим количеством примеров.

Подытоживая, можно заключить следующее:

- при проектировании дорожных покрытий неопределенности данных встречаются в большинстве процедур, но учитываются они не вполне корректно, что приводит к недостаточно обоснованным решениям;

- предложенная интеллектуальная система в виде нейронечеткой сети для оценки технологических решений является достаточно адекватной, учитывает наиболее важные параметры, позволяет принимать оперативные решения без выполнения длительного процесса разработки проектов, поэтому может быть рекомендована для использования в практике дорожного строительства.

Таблица

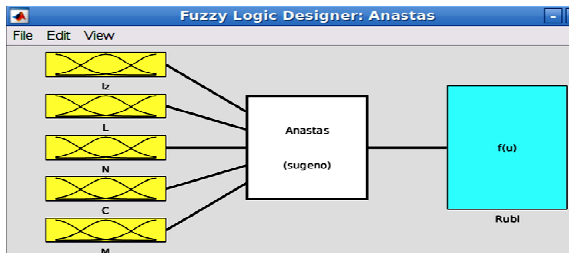
Исходные данные для обучения нейронной сети

№	Длина захватки l , м	Расстояние доставки материалов L , км	Число машин N , ед.	Стоимость машины C , руб.	Стоимость материалов M , руб.	Стоимость конструкции дор. одежды $Rubl$, тыс. руб.
1	100	22	50	10400	3400	4551,11
2	250	15	34	10400	3200	12 711,73
3	150	20	37	10400	3350	7198,55
4	300	20	73	10400	3350	17 217,76
5	200	11	83	12000	2450	10 257,79
6	250	38	73	12000	3500	12 938,31

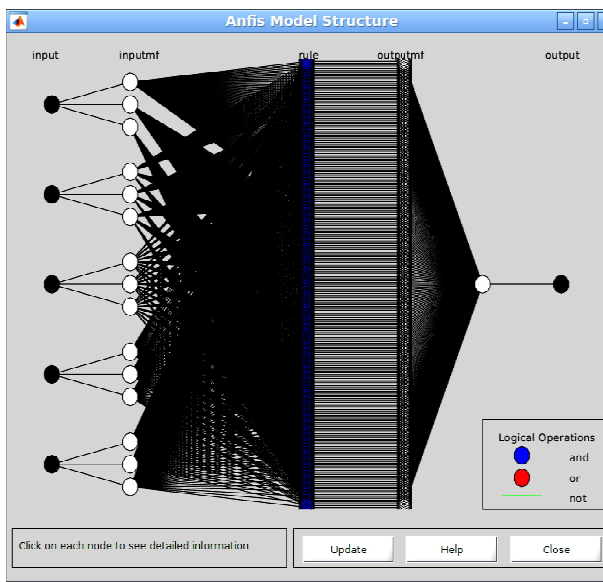
*собственная разработка авторов

Row	1	2	3	4	5	6
1	100	22	50	10400	3400	4551,1184
2	250	15	34	10400	3200	12711,7320
3	150	20	37	10400	3350	7198,5578
4	300	20	73	10400	3350	17217,7692
5	200	11	83	12000	2450	10257,7904
6	250	38	73	12000	3500	12938,3110

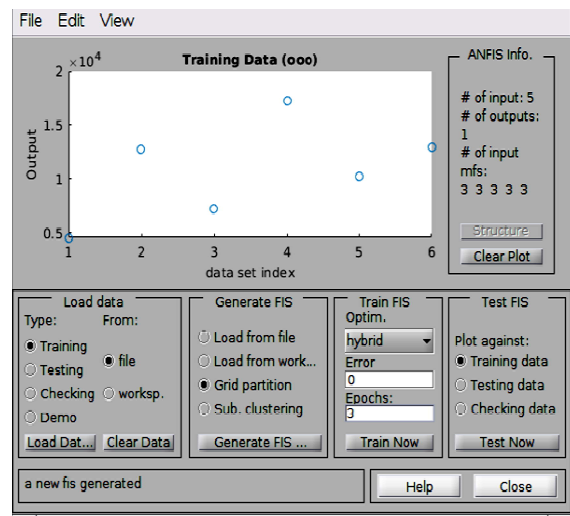
а)



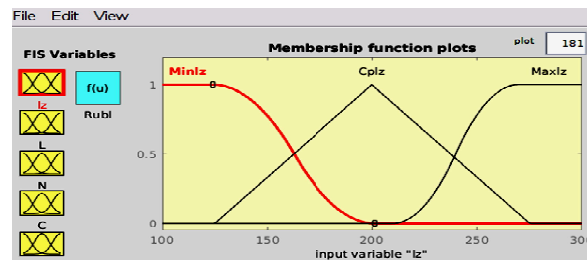
б)



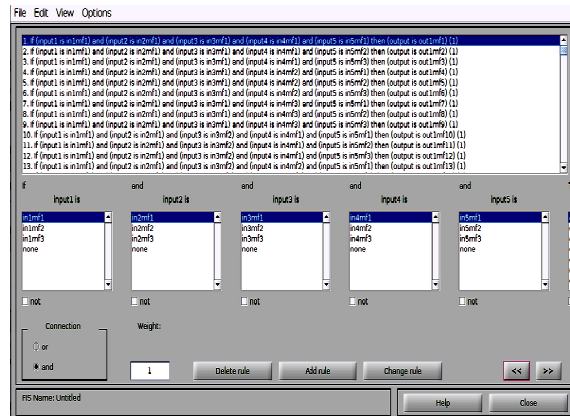
д)



б)



г)



е)

Рис. 1. Создание нейронечеткой сети ANFIS: а) создание файла с исходными данными; б) загрузка данных в систему; в) задание структуры сети и метода нечеткого вывода (Сугено); г) корректировка лингвистических переменных для всех входных параметров; д) генерация нейронной сети; е) генерация базы правил нечеткой продукции (собственная разработка авторов в среде MATLAB)

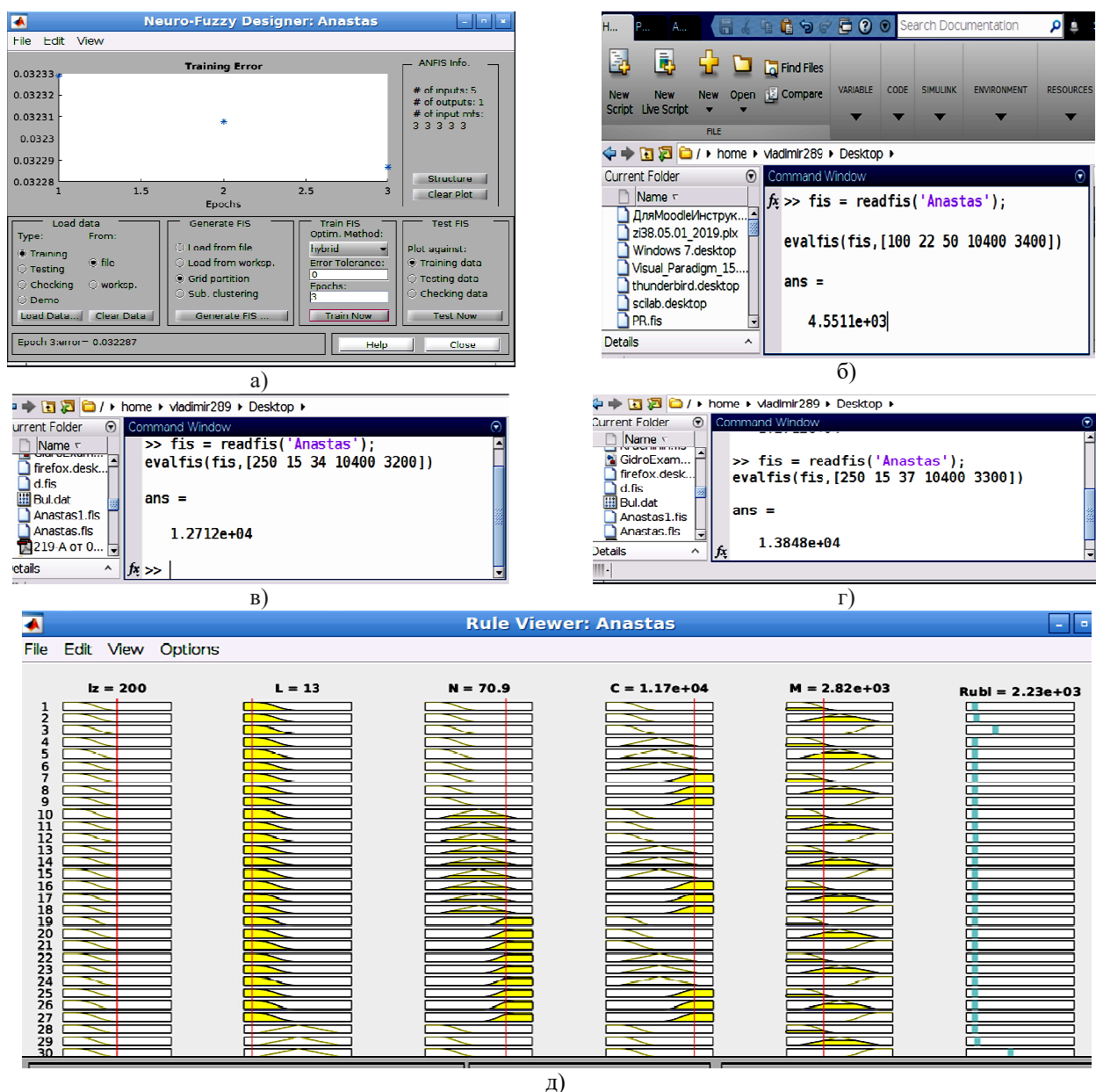


Рис. 2. Обучение нейронной сети и проверка на тестовых примерах: а) обучение (тренировка) сети и настройка под допустимое значение ошибки; б) тестовый контроль обученной сети с исходными выборками данных; в, г, д) проверка адекватности по тестовым примерам (собственная разработка авторов в среде MATLAB)

Библиографический список

1. Алпайдин, Э. Машинное обучение: новый искусственный интеллект / Э. Алпайдин ; пер. с англ. – Москва : Издательская группа «Точка», 2017. – 208 с. – ISBN 978-5-9908700-8-6.
2. Булдаков, С. И. Последовательность выполнения проекта по строительству автомобильных дорог / С. И. Булдаков. – Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2017. – 177 с. – ISBN 978-5-94984-605-6.

3. Дайитбегов, Д. М. Компьютерные технологии анализа данных в эконометрике / Д. М. Дайитбегов. – Москва : ИНФРА-М, 2008. – 577 с. – ISBN 978-5-16-003380-8.
4. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Т. Джонс ; пер. с англ. А.И. Осипова. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-97060-579-0.
5. Kruchinin, I. N. Fuzzy simulation of forest road surface parameters / I. N. Kruchinin, V. V. Pobedinsky, R. N. Kovalev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). – 2019. – Vol. 326. – DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012026.
6. MATLAB Release Notes for R2008a // MathWorks. – URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/release-notes.Highlight> (date of access: 15.02.2019).
7. Piegat, A. Fuzzy Modeling and Control / A. Piegat. – Heidelberg, Physica-Verlag, 2001. – 760 p. – DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
8. Рашид, Т. Создаем нейронную сеть / Т. Рашид ; пер. с англ. – Санкт-Петербург: ООО «Диалектика», 2019. – 272 с. – ISBN 978-5-9909445-7-2.
9. Хултен, Дж. Разработка интеллектуальных систем / Дж. Хултен ; пер. с англ. В.С. Яценкова. – Москва : ДМК Пресс, 2019. – 284 с. – ISBN 978-5-97060-760-2.
10. Ясницкий, Л. Н. Нейронные сети – инструмент для получения новых знаний: успехи, проблемы, перспективы / Л. Н. Ясницкий // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2015. – № 5. – С. 48–56. – ISSN: 1999-8554.

References

1. Alpaydin E. *Mashinnoe obuchenie: novyj iskusstvennyj intellekt* [Machine learning: a new artificial intelligence: translation from English]. Moscow, *Izdatel'skaja grupa «Tochka»* [Tochka Publishing Group], 2017, 208 p. (in Russian). ISBN 978-5-9908700-8-6.
2. Buldakov S.I. *Posledovatel'nost' vypolnenija proekta po stroitel'stvu avtomobil'nyh dorog* [The sequence of the project for the construction of roads]. *Ekaterinburg, Ural'skiy gosudartsvennyy lesotekhnicheskij universitet* [Ural State Forestry University], 2017, 177 p. (in Russian). ISBN 978-5-94984-605-6.
3. Dajitbegov D.M. *Komp'yuternye tekhnologii analiza dannykh v ekonometrike* [Computer technology of data analysis in econometrics]. Moscow, INFRA-M, 2008, 577 p. (in Russian). ISBN 978-5-16-003380-8.
4. Dzhons M.T. *Programmirovaniye iskusstvennogo intellekta v prilozheniyah* [Programming artificial intelligence in applications: translation from English by A.I. Osipov], Moscow, DMK Press, 2018, 312 p. (in Russian). ISBN 978-5-97060-579-0.
5. Kruchinin I.N., Pobedinsky V.V., Kovalev R.N. *Nechetkoe modelirovaniye parametrov pokrytij lesnykh dorog* [Fuzzy simulation of forest road surface parameters]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). 2019, Vol. 326. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012026.
6. MATLAB Release Notes for R2008a. *MathWorks*. URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/release-notes.Highlight> (date of access 15.02.2019).
7. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Heidelberg, Physica-Verlag, 2001, 760 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
8. Rashid T. *Sozdaem nejronnyuyu set: perevod s angl.* [Create a neural network: translated from English], Saint Petersburg, LLC "Dialectics", 2019. 272 p. (in Russian). ISBN 978-5-9909445-7-2.
9. Hulten Dzh. *Razrabotka intellektual'nyh sistem: per. s angl. V.S. Jacenkova* [Development of intelligent systems: translation from English by V.S. Yatsenkov], Moscow, DMK Press, 2019, 284 p. (in Russian). ISBN 978-5-97060-760-2.
10. Jasnicky L.N. (2015) *Nejronnye seti – instrument dlja poluchenija novyh znaniy: uspehi, problemy, perspektivy* [Neural networks – a tool for acquiring new knowledge: successes, problems, prospects]. *Nejrokom'jutery: razrabotka, primeneniye* [Neurocomputers: development, application], No. 5, pp. 48-56. (in Russian). ISSN: 1999-8554.

Сведения об авторах

Побединский Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных систем ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: pobed@e1.ru; SPIN-код: 7968-3990, AuthorID: 648495. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>. ResearcherID: G-3245-2018.

Булдаков Сергей Иванович – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры транспорта и дорожного строительства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: buldakovsi@m.usfeu.ru, AuthorID: 495921, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-5433-4696>.

Берстнев Андрей Владимирович – кандидат технических наук, ведущий инженер КБ «Новатор», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: berstnevandr@mail.ru, SPIN-код: 4484-1447, AuthorID: 648363. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-8986-2851>.

Анастас Елена Сергеевна – аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: elenasergevna@bk.ru, AuthorID: 1074783, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0002-0250-9789>, ResearcherID: AAR-3399-2020.

Information about authors

Pobedinsky Vladimir Viktorovich – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Intelligent Systems, FSBEI HE "Ural State Forest Engineering University", Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: pobed@e1.ru, SPIN: 7968-3990, AuthorID: 648495. ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-6318-3447>. ResearcherID: G-3245-2018.

Buldakov Sergey Ivanovich – PhD (Engineering), Professor, Professor of the Department of Transport and Road Construction, FSBEI HE "Ural State Forestry Engineering University", Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: buldakovsi@m.usfeu.ru, AuthorID: 495921, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-5433-4696>.

Berstnev Andrey Vladimirovich – PhD (Engineering), Leading Engineer, Novator Design Bureau, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: berstnevandr@mail.ru, SPIN code: 4484-1447, AuthorID: 648363, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0001-8986-2851>.

Anastas Elena Sergeevna – post-graduate student of the Department of Transport and Road Construction, FSBEI HE "Ural State Forestry Engineering University", Ekaterinburg, Russian Federation, e-mail: elenasergevna@bk.ru, AuthorID: 1074783, ORCIDiD: <https://orcid.org/0000-0002-0250-9789>, ResearcherID: AAR-3399-2020.

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОФАКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДУЕМЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЛЕСОВОЗНОМ АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

доктор технических наук, профессор **В.И. Посметьев**

кандидат технических наук, доцент **В.О. Никонов**

кандидат физико-математических наук, доцент **В.В. Посметьев**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Обосновано перспективное направление, повышающее эффективность функционирования лесовозного автомобильного транспорта при вывозке лесоматериалов, основанное на разработке и использовании в его конструкции различных рекуперативных механизмов. Выполнен анализ зарубежной литературы и описаны имеющиеся у авторов разработки и полученные результаты исследований в данной области. Проведена на основе математического моделирования параметрическая оптимизация восьми типов исследуемых рекуперативных энергосберегающих систем. Представлена схема вариантов оптимизации конструктивных параметров энергосберегающих систем, включающая в себя однофакторную, двухфакторную и многофакторную оптимизацию. Приведены алгоритмы многофакторной оптимизации конструктивных параметров и равномерного распределения заданного количества точек компьютерного эксперимента в многофакторном пространстве. Разработан математический аппарат равномерного распределения точек в многофакторном пространстве. Обоснован выбор нейросетевой аппроксимации для решения задачи многофакторной оптимизации. Представлена схема топологии искусственной нейронной сети. Разработан алгоритм исследования факторного пространства с помощью аппроксимирующей радиальной нейронной сети. Предложен метод многофакторной оптимизации, позволяющий обеспечить минимум компьютерных экспериментов, равномерно покрывающих многофакторное пространство при одновременно высокой детализации представления поверхностей отклика, и обеспечить поиск оптимальных областей факторного пространства. Выполнена оптимизация параметров восьми исследуемых рекуперативных энергосберегающих систем для лесовозного автомобильного транспорта.

Ключевые слова: лесовозный автомобильный транспорт, многофакторная оптимизация, энергосберегающие системы, рекуперация энергии, энергия рабочей жидкости, энергия сжатого газа, конструктивные параметры, вывозка лесоматериалов, нейронная сеть

MULTI-FACTOR OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE RESEARCHED ENERGY SAVING SYSTEMS APPLIED IN TIMBER ROAD TRANSPORT

DSc (Engineering), Professor **V.I. Posmetyev**

PhD (Engineering), Associate Professor **V.O. Nikonov**

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **V.V. Posmetyev**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

A promising direction has been substantiated that increases the efficiency of timber road transport during timber hauling, based on the development and use of various recuperative mechanisms in its design. The analysis of foreign literature has been carried out and the authors' developments and the obtained research results in this area are described. Parametric optimization of eight types of investigated recuperative energy-saving systems has been carried out on the basis of mathematical modeling. A diagram of options for optimizing the design parameters of energy-saving systems is presented, including one-factor, two-factor and multi-factor optimization. Algorithms for multifactorial optimization of design parameters and uniform distribution of a given number of points of a computer experiment in a multifactor space are presented. A mathematical apparatus for the uniform distribution of points in a multifactor space has been developed. The choice of neural network approximation for solving the problem of multifactor optimization is substantiated. An artificial neural network topology diagram is presented. An algorithm for studying the factor space using an approximating radial neural network has been developed. A method of multifactor optimization is proposed, which makes it possible to ensure a minimum of computer experiments that uniformly cover the multifactor space with highly detailed representation of response surfaces and ensuring the search for optimal regions of the factor space. Optimization of parameters of eight investigated recuperative energy-saving systems for timber road transport has been made.

Keywords: timber road transport, multifactorial optimization, energy saving systems, energy recovery, working fluid energy, compressed gas energy, design parameters, timber hauling, neural network

Введение

Перспективным направлением повышения эффективности функционирования лесовозного автомобильного транспорта при вывозке лесоматериалов в сложных дорожных условиях лесозаготовительного производства является разработка и внедрение в лесовозном автомобильном транспорте различных конструктивных решений, основанных на рекуперации энергии рабочей жидкости или энергии сжатого нейтрального газа.

Использование таких рекуперативных устройств в конструкции лесовозного автомобильного транспорта позволит значительно снизить затраты на топливо путем накопления и дальнейшего использования непроизводительно рассеиваемой энергии в процессе трогания, ускорения, торможения лесовозного автотранспортного средства, преодоления им различных препятствий, неровностей, имеющихся на лесовозных дорогах, а также в про-

цессе погрузки-разгрузки лесоматериалов в кузов гидравлическим манипулятором, установленным на лесовозном автотранспортном средстве. Снижение затрат на топливо отразится на суммарных затратах, расходуемых лесозаготовительными предприятиями на вывозку лесоматериалов лесовозным автомобильным транспортом, что в конечном счете положительно отразится на повышении эффективности лесозаготовок в РФ.

Исследованиями в области разработки и использования рекуперативных механизмов в конструкциях транспортных машин занимались многие зарубежные ученые, среди которых можно выделить: Chen Long [1], Junyi Zou [2], Miss Adhav Madhuri [3], Rafael Rivelino Silva Bravo [4], Lianpeng Xia [5], Lu Lu [6].

Chen Long (2017) в своих исследованиях выполнил оптимизацию рабочих параметров рекуперативного гидравлического привода подвески

транспортного средства, которая основана на разработанной динамической модели функционирования подвески транспортного средства с четырьмя степенями свободы. В результате проведенного стендового исследования с изменяемыми параметрами неровностей дорожного покрытия выявлено, что динамические характеристики транспортного средства, оборудованного взаимосвязанной подвеской с рекуперативным гидроприводом, незначительно уступают транспортному средству с традиционной подвеской при лучшей приспособленности к сложным дорожным условиям, при обеспечении более комфортных условий для водителя, а также возможности накопления и полезного использования энергии при преодолении транспортным средством возможных препятствий [1].

Junyi Zou (2018) в своей работе провел исследование гидравлической взаимосвязанной подвески транспортного средства, оснащенной рекуперативными амортизаторами. Для исследования динамических характеристик транспортного средства, изменения во времени давления и скорости потока рабочей жидкости в рекуперативных амортизаторах была разработана математическая модель функционирования этого транспортного средства. Были получены результаты, которые показали, что такое транспортное средство, помимо возможности накопления и полезного использования энергии рабочей жидкости, обладает высокими ходовыми качествами, а также повышенной устойчивостью против опрокидывания на поворотах [2].

Miss Adhav Madhuri Vilas в своей статье описывает результаты исследования, выполненного на основе метода конечных элементов, сравнения прочности торсионных валов, изготовленных из различных перспективных материалов и используемых в подвесках транспортных средств, косвенно выполняющих функции рекуператоров энергии. Проведена оптимизация параметров нагружения торсионных валов и их деформации, которая показала высокую сходимость теоретических и практических результатов [3].

R. R. S. Bravo (2018) исследовал процесс рекуперативного торможения в транспортных средствах, оснащенных гибридными пневмо-гидравлическими трансмиссиями, заключающегося в накоп-

лении непроизводительно рассеиваемой в окружающую среду энергии при торможении транспортного средства в виде рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе или сжатого газа в ресиверах, с последующим полезным использованием для приведения в действие вспомогательного оборудования. Полученные результаты на основе математической модели и выполненных лабораторных экспериментов показали, что максимально возможное полезное количество накопленной в процессе торможения до полной остановки транспортного средства энергии составило 69 % [4].

Lianpeng Xia (2017) в своих исследованиях для повышения энергоэффективности экскаватора предлагает использовать рекуперативный гидропривод, который позволяет преобразовывать потенциальную энергию стрелы при ее опускании в гидравлическую энергию, накапливаемую в пневмогидравлическом аккумуляторе. Использование предлагаемого рекуперативного гидропривода позволяет снизить потребление энергии на 50,1 % [5].

Lu Lu (2014) описывает работу предлагаемого им рекуперативного гидропривода управления стрелой гидроманипулятора, позволяющего использовать потенциальную энергию при ее опускании путем преобразования в энергию рабочей жидкости [6].

Основываясь на этих и других российских и зарубежных результатах исследований, а также их практическом применении в области использования рекуперативных устройств в транспортных средствах, авторами были предложены и подробно изучены на основании математического моделирования восемь типов различных рекуперативных энергосберегающих систем [7-10].

Материалы и методы

Для поиска наилучших параметров этих исследуемых энергосберегающих систем восьмью типами проведена параметрическая оптимизация. Основной объем оптимизации выполнен на основе компьютерных экспериментов с разработанными моделями энергосберегающих систем.

В общем случае решение задачи оптимизации заключается в нахождении экстремума функций нескольких переменных. Выполняется сравнение моделей энергосберегающих систем с отли-

чающимися значениями параметров, далее производится нахождение такого набора параметров, который соответствует требованиям для выбранного критерия. В процессе компьютерного эксперимента требуется соблюдать условие идентичности функционирования в модели сравниваемых вариантов энергосберегающих систем. При исследовании различных вариантов фиксированных структур энергосберегающих систем, с постоянными параметрами для каждого варианта, определяемый при решении задачи экстремум показателя можно рассматривать как функцию факторов x_i , не имеющую аналитического выражения, являющуюся критерием оптимизации $K = K(x_1, x_2, \dots, x_n)$. В большинстве случаев рассматриваемый критерий оптимизации является комбинацией совокупности частных критериев оптимизации $K_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$ с отличающимися весами [11, 12].

Каждая из исследуемых математических моделей энергосберегающих систем представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений, решаемых итерационными численными методами. Следовательно, для нахождения значения критерия оптимизации K с соответствующим набором факторов оптимизации x_1, x_2, \dots, x_n , являющихся параметрами математической модели, требуется численное решение соответствующей системы

уравнений, что в данной работе называется «проведением компьютерного эксперимента».

Для каждой из восьми оптимизируемых энергосберегающих систем, в зависимости от типа, было выбрано от двух до семи оптимизируемых факторов. В результате выполнения оптимизации каждый из факторов x_i варьировался на определенных уровнях таким образом, чтобы наборы факторов (в дальнейшем используется термин «пробные точки») располагались приблизительно равномерно в факторном пространстве. Значение каждого фактора лежало в диапазоне от минимального x_{imin} до максимального x_{imax} значения, заданного перед решением задачи оптимизации. Общее количество компьютерных экспериментов $N_{кэ}$ при решении задачи оптимизации составляло от 5 до 10 для однофакторной, 9 – для двухфакторной, от 7 до 64 – для многофакторной. Проведение $N_{кэ}$ компьютерных экспериментов для множества наборов уровней факторов осуществлялось с помощью описанных выше компьютерных программ, разработанных для каждой энергосберегающей системы. Проводились три варианта оптимизации: однофакторная, двухфакторная, многофакторная (рис. 1).

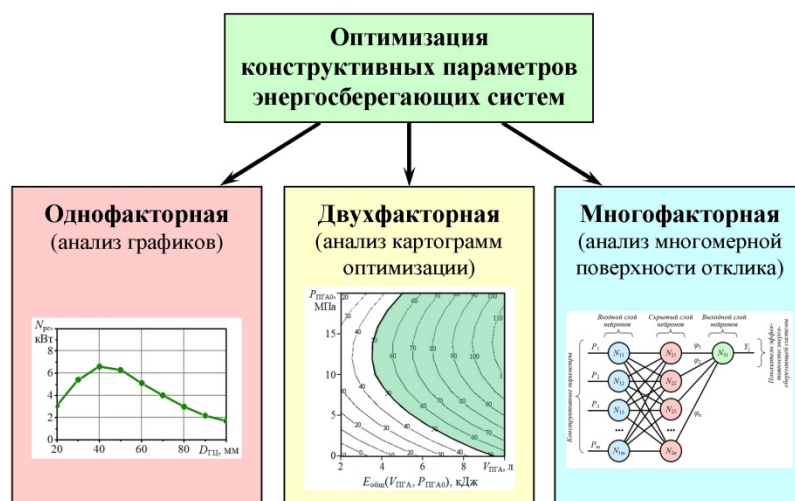


Рис. 1. Варианты оптимизации конструктивных параметров энергосберегающих систем, использовавшиеся в данной работе (собственные разработки)

Однофакторная оптимизация проводилась по полученным в компьютерных экспериментах зависимостям типа $K_i(x_i)$ (функции одной переменной). В теоретическом разделе при исследовании влияния изменяемых параметров на эффективность системы делали вывод об оптимальном диапазоне параметра по графикам зависимости критериев от факторов (рис. 1).

Двухфакторная оптимизация проводилась для каждой энергосберегающей системы для двух наиболее важных параметров. В этом случае аппроксимировали полученные в серии компьютерных экспериментов точки полиномиальной поверхностью в среде математического пакета MathCAD 14, проверяли адекватность и анализировали благоприятные области факторного пространства (рис. 1). Обеспечение предъявляемых требований к адекватности поверхности отклика первого и второго порядка по полученным результатам на основании проведенных компьютерных экспериментов производили по критерию Фишера, в соответствии с чем осуществляли сравнение дисперсии адекватности первого и второго порядка $(S_{ад}^2)_I$, $(S_{ад}^2)_{II}$. Адекватность поверхности первого порядка определялась в соответствии с зависимостью

$$(s_{ад}^2)_I / (s_{ад}^2)_{II} < F(f_I, f_{II}), \quad (1)$$

где $F(f_I, f_{II})$ – значения критериев Фишера, подобранные на основании табличных данных для степеней свободы f_I и f_{II} . Уровень значимости в расчетах соответствовал 0,05.

В большинстве случаев наблюдалась неадекватность поверхности первого порядка, это приводило к тому, что приходилось далее проверять таким же образом адекватность поверхности второго порядка, но уже с использованием дисперсии адекватности поверхностей второго, а также третьего порядков.

Далее, осуществив выбор адекватной аппроксимирующей поверхности, выполнялся поиск оптимума на этой поверхности, основанный на численном методе наискорейшего спуска. После этого для снижения вероятности выбора какого-либо локального экстремума в качестве искомого оптимума спуск осуществлялся многократно из различных равномерно распределенных в факторном простран-

стве начальных точек. Затем из найденных результатов осуществлялся выбор наиболее оптимального экстремума. Для повышения скорости и сокращения времени реализации метода принимались в качестве начальных точек аналогичные точки $(x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk})$, общим количеством $N_{кз}$, что и в выполняемых ранее компьютерных экспериментах. Для реализации метода наискорейшего спуска была разработана подпрограмма на встроенном языке программирования и инженерного математического программного обеспечения MathCAD. Учитывая возможное расположение на границе факторного пространства или вдоль нее искомого оптимума, в подпрограмме осуществлялась необходимая коррекция направления градиента поверхности. Схема алгоритма решения оптимизационной задачи приведена на рис. 2.

Для трехфакторной оптимизации использовали метод равномерного размещения минимального количества пробных точек в многофакторном пространстве, метод радиальных нейронных сетей для аналитического представления поверхности отклика между пробными точками (рис. 1) и метод полного перебора для поиска оптимальных областей в анализированном факторном пространстве.

Особенностью многофакторной оптимизации в данной работе является использование двух методов: равномерного размещения пробных точек в многофакторном пространстве и радиальных нейронных сетей для представления поверхности отклика.

В случае многофакторной оптимизации (три и более факторов) возникает проблема, как с помощью минимального количества пробных точек (компьютерных экспериментов) определить характер изменения функции в факторном пространстве и с необходимой точностью определить границы оптимальной области. В предположении, что оптимизируемая функция имеет один выраженный оптимум, минимальное количество пробных точек может быть 3 – для однофакторной оптимизации, 5 – для двухфакторной, 7 – для трехфакторной и т. д. Целесообразно при оптимизации использовать не минимальное количество пробных точек, а с некоторым запасом (например, двукратным), чтобы точнее установить геометрический характер поверхности отклика. Поэтому

на этапе планирования оптимизационного (компьютерного) эксперимента возникает задача: как разместить заданное количество n_T пробных точек в факторном пространстве, чтобы точки равномерно покрывали факторное пространство и располагались с приблизительно равным удалением друг от друга и от границ факторного пространства (рис. 3).

Для равномерного распределения n_T точек в факторном пространстве использовали метод динамики частиц. Метод динамики частиц обладает высокой эффективностью при решении разнообразных геометрических задач, при этом геометрические точки представляются материальными точками, обладающими определенной массой, взаимодействующими по какому-либо физическому закону с другими точками [13].

В данном случае n_T точек, в которых будет проведен компьютерный эксперимент, считались материальными точками с массой $m = 1$ (условный килограмм). Условное физическое взаимодействие между точками осуществлялось по упруго-вязкому закону, с коэффициентами жесткости и демпфирования. Также точки взаимодействовали с границами факторного пространства (в форме гипер-

параллелепипеда) с помощью аналогичных упруго-вязких сил.

Для распределения точек по факторному пространству изначально точки размещались случайным образом в объеме факторного пространства, после чего выполняли численное интегрирование уравнений движения точек методом Рунге-Кутты второго порядка. На каждом шаге интегрирования принудительно уменьшали скорость движения точек путем умножения на коэффициент $\alpha = 0,99$. В ходе данного итерационного алгоритма точки постепенно стремились удалиться друг от друга и от границ пространства, в результате чего через порядка 1-10 с машинного времени точки оказывались равномерно размещены в факторном пространстве (рис. 4).

Предложенный метод распределения точек работает для необходимого количества измерений, которые встречались при решении задач оптимизации в данной работе (1-7). Для примера в табл. 1 приведены координаты равномерно размещенных 10 экспериментальных точек в трехфакторном пространстве.

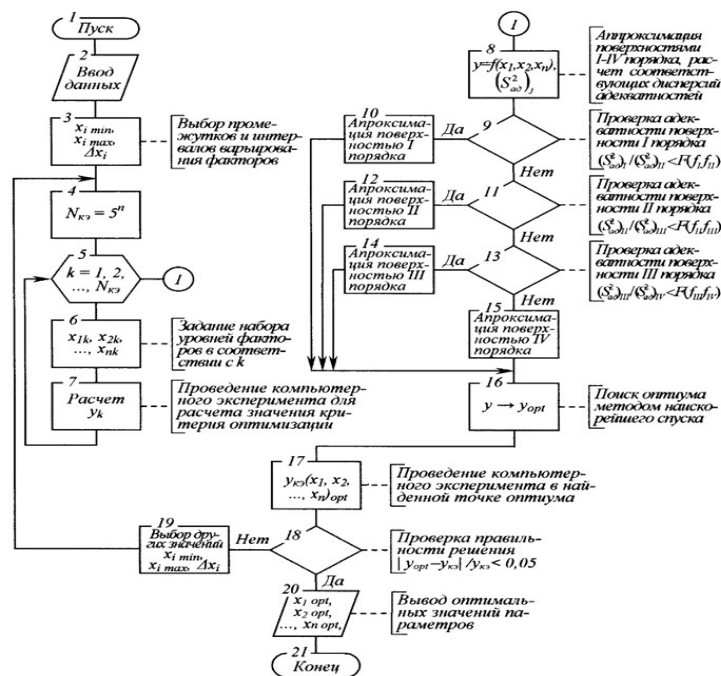


Рис. 2. Схема алгоритма многофакторной оптимизации конструктивных параметров энергосберегающей системы (собственные разработки)

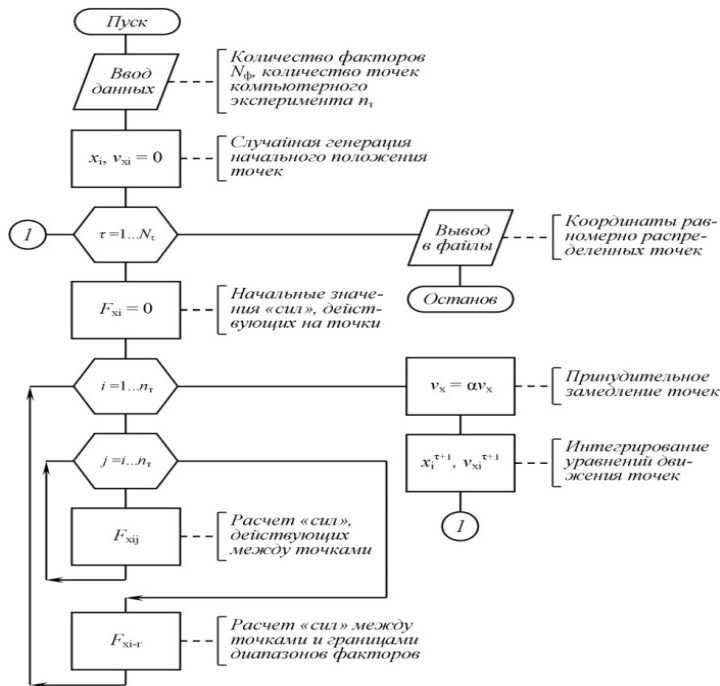


Рис. 3. Схема алгоритма равномерного распределения заданного количества n_t точек компьютерного эксперимента в многофакторном пространстве (собственные разработки)

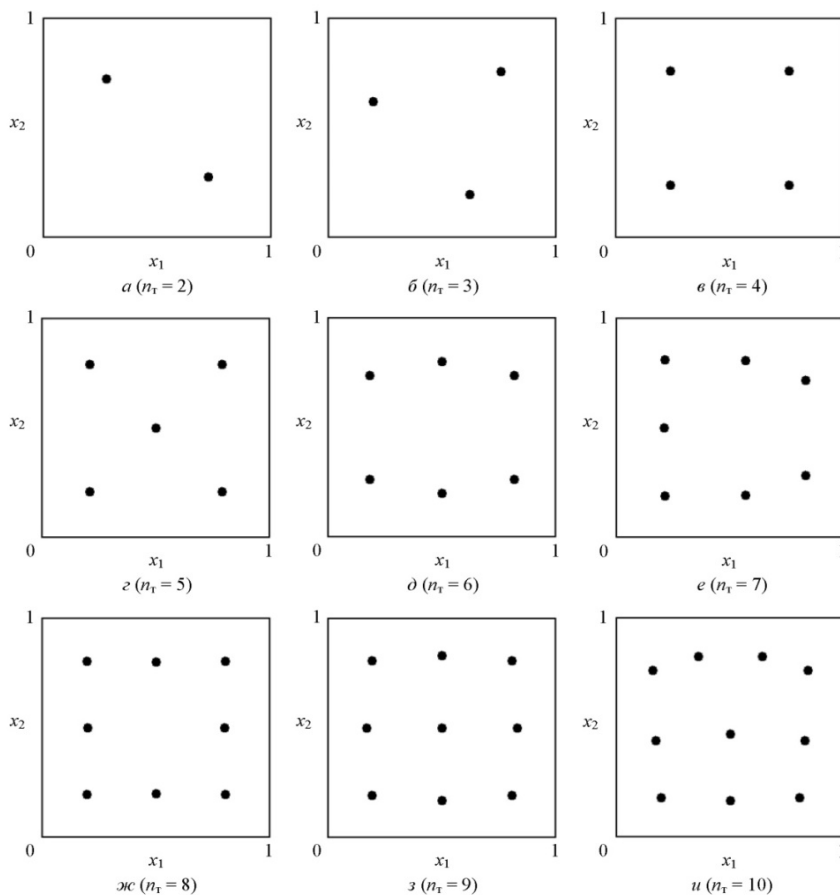


Рис. 4. Примеры равномерного размещения разного количества n_t пробных точек в двухфакторном пространстве (x_1, x_2) (собственные разработки)

Пример равномерного размещения 10 пробных точек в трехфакторном пространстве (x_1, x_2, x_3)

Номер точки	x_1	x_2	x_3
1	0,250	0,730	0,250
2	0,750	0,270	0,750
3	0,250	0,270	0,250
4	0,766	0,500	0,234
5	0,234	0,500	0,766
6	0,701	0,795	0,299
7	0,701	0,205	0,299
8	0,299	0,795	0,701
9	0,750	0,730	0,750
10	0,299	0,205	0,701

(собственные вычисления авторов)

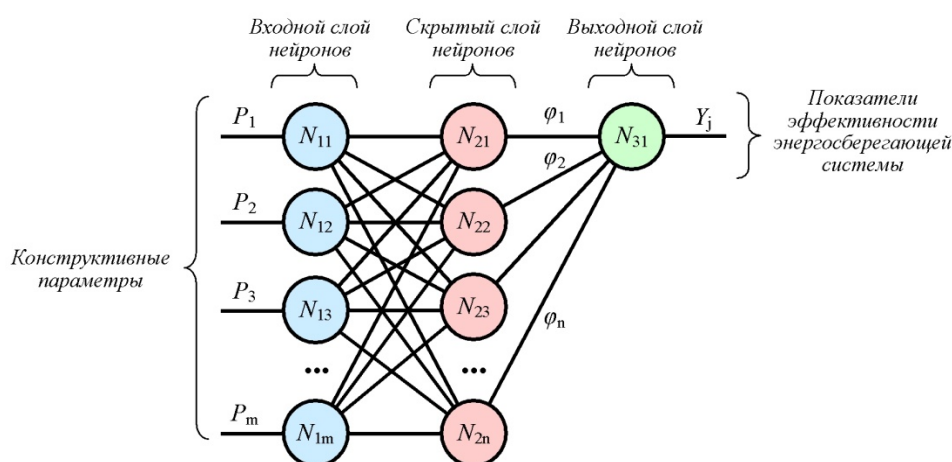


Рис. 5. Топология искусственной нейронной сети, используемой в данной работе (собственные разработки)

Таким образом, было разработан математический аппарат равномерного распределения точек в многофакторном пространстве для обеспечения минимального количества компьютерных экспериментов в случае большого количества измерений (3-7). Для аппроксимации многофакторной поверхности целесообразно использовать искусственные нейронные сети. В этой связи среди различных вариантов нейронных сетей были выбраны радиальные нейронные сети, обладающие высокими интерпретируемостью и контролируемостью.

Под искусственными нейронными сетями понимают разработанное программное обеспечение на основании математической модели, по своим особенностям близкое к устройству и функционированию биологических нейронных сетей, в качестве которых могут выступать как мозг человека,

так и нервная система живых организмов. Изучение искусственных нейронных сетей осуществляется российскими и зарубежными исследователями на протяжении более 70 лет. За этот большой период времени разработано и апробировано множество разнообразных типов задач. Наибольшую эффективность нейронные сети нашли при решении различных задач управления, прогнозирования, классификации, аппроксимации, сжатия данных, распознавания и др. [14].

Применяемые в процессе прогнозирования искусственные нейронные сети позволяют автоматически распознавать закономерности из множества данных, которые в дальнейшем используются этими сетями для исследования различных процессов. Применительно к исследованию, выполненно-

му в данной статье, использование нейронных сетей позволит:

– осуществить прогноз показателей эффективности исследуемых энергосберегающих систем с использованием их основных конструктивных параметров, выполнить обучение нейронной сети с использованием минимального количества пробных точек в факторном пространстве;

– выявить зависимости влияния основных конструктивных параметров исследуемых энергосберегающих систем на показатели их эффективности;

– выполнить проверку возможных комбинаций конструктивных параметров, а также найти их оптимальный набор.

Широкое использование надежного, универсального нейросетевого подхода для обработки данных при решении вышеописанных задач дает возможность: выполнить замену с целью сокращения скорости вычислений сложной математической модели на простую; разработать математическую модель, позволяющую задавать более семи входных показателей. Данный подход, обладая потенциальной основой для разработки интеллектуальной системы управления исследуемых энергосберегающих систем, имеет низкую чувствительность к возникающим случайным ошибкам входных показателей, а также к возможному отсутствию информации о них.

Перечисленные преимущества позволили обосновать выбор нейросетевой аппроксимации для решения задачи многофакторной оптимизации в данной работе.

В рамках данного метода нейроны характеризуются значениями конструктивных параметров P_i . Данный нейросетевой подход имеет высокую схожесть в математических принципах с функционированием памяти человека и поэтому нашел широкое применение в системах искусственного интеллекта [15].

В процессе определения типа и топологии нейронной сети необходимо принимать во внимание сложность решаемой задачи, тип и объект существующей информации для обучения, вычислительную мощность компьютера, а также имеющееся программное обеспечение. Выполнив анализ

существующих типов нейронных сетей, используемых для решения задачи аппроксимации поверхности отклика, выявили, что наибольшую эффективность должна иметь радиальная нейронная сеть.

Первый («входной») слой нейронов непосредственно считывает набор входных данных (конструктивных параметров энергосберегающих систем) для прогнозирования и аналогичен биологическим рецепторам (рис. 5).

Задача i -го входного нейрона состоит в том, чтобы по входящему значению x_i создать на выходе нейрона вещественное число N_{1i} , находящееся в интервале от 0 до 1.

Следующий слой нейронов является скрытым слоем, основными функциями которого являются поиск закономерностей, а также обобщение входных данных.

В качестве данного слоя выступают показатели эталонных вариантов (рассчитанные критерии для пробных точек) из базы данных. Связи между входным и скрытым слоем позволяют определить «расстояние» в многофакторном пространстве (или «радиус», отсюда название «радиальные нейронные сети») между новым вариантом (комбинацией конструктивных параметров энергосберегающей системы) и вариантами-эталонами, для которых известны значения показателей эффективности.

В последнем слое нейронов расположены «выходные нейроны» в количестве, равном количеству показателей эффективности энергосберегающей системы, которые выдают результаты аппроксимации поверхности отклика. Связи между скрытым и выходным слоем нейронов выполняют усреднение показателей вариантов-эталонов с весовыми коэффициентами, зависящими от расстояния между новым и эталонным вариантом [16].

Суть метода расчета критерия оптимизации с помощью радиальной нейронной сети состоит в том, что для текущей комбинации конструктивных параметров энергосберегающей системы x_1, x_2, \dots, x_n необходимо выполнить прогноз критерия оптимизации K . Для этого выбираются наиболее похожие комбинации параметров (пробные точки) и усредняются с определенными весами соответствующие им дистанции d_j для получения прогноза функции:

$$K = K_1 \cdot \alpha_1(r_1) + K_2 \cdot \alpha_2(r_2) + \dots + K_N \cdot \alpha_N(r_N) = \sum_{i=1}^N K_i \cdot \alpha_i(r_i), \quad (2)$$

где K_i – выходной показатель варианта-эталона (пробной точки) из информационной базы; $\alpha_i(r_i)$ – весовой коэффициент нейрона-эталона i , зависящий от расстояния между данными для прогноза и i -м эталонным вариантом в факторном пространстве (x_1, x_2, \dots, x_m) ; N – количество вариантов (порядка 10-60).

Расстояние в факторном пространстве между новым случаем (x_i, \dots, x_m) и эталонным рассчитывается по теореме Пифагора для N -измерений:

$$r_i = \sqrt{(x_{1i} - x_{1i})^2 + (x_{2i} - x_{2i})^2 + \dots + (x_{mi} - x_{mi})^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ji} - x_{ji})^2}, \quad (3)$$

где j – номер начального показателя эталона.

Для учета доли передаваемой информации эталонами в зависимости от значения расстояния до необходимой точки факторного пространства используются весовые коэффициенты α_i . Значение весового коэффициента α_i должно увеличиваться с уменьшением расстояния r_i , а также стремиться к нулю при неограниченном возрастании расстояния. Наиболее распространенным и более часто используемым выражением для определения математически весовых коэффициентов, является выражение в форме гауссовской функции:

$$\alpha_i^0(r_i) = \exp\left(-\frac{r_i^2}{\sigma^2}\right), \quad (4)$$

где значение «0» в переменной α_i^0 является обозначением предварительного ненормированного варианта;

σ – типичное расстояние, при котором эталоны считаются ближайшими. График функции имеет плавно убывающий характер (рис. 6).

Далее, определив весовые коэффициенты α_i по приведенной выше формуле, осуществляют их нормирование для выполнения следующего условия:

$$\alpha_1(r_1) + \alpha_2(r_2) + \dots + \alpha_N(r_N) = \sum_{i=1}^N \alpha_i(r_i) = 1. \quad (5)$$

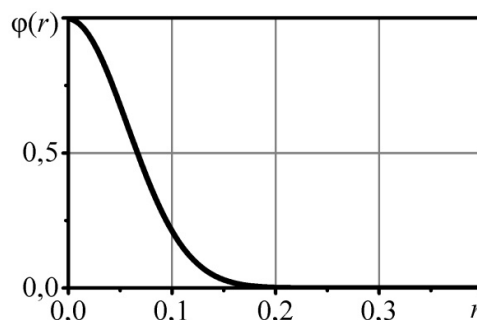


Рис. 6. Радиальная функция активации нейрона (собственные разработки)

На основании этого нормирование весовых коэффициентов α_i^0 выполняется по следующей зависимости:

$$\alpha_i(r_i) = \frac{\alpha_i^0(r_i)}{\sum_{j=1}^N \alpha_j^0(r_j)}. \quad (6)$$

Конечную зависимость для прогноза показателя K для нового набора данных можно записать следующим образом:

$$K = \sum_{i=1}^N K_i \cdot \exp\left(-\frac{\sum_{j=1}^M (x_{ji} - x_{ji})^2}{\sigma^2}\right) \left(\sum_{j=1}^N \exp\left(-\frac{\sum_{k=1}^M (x_{kj} - x_{kj})^2}{\sigma^2}\right) \right)^{-1}. \quad (7)$$

Для каждого прогнозируемого показателя эффективности производится отдельный расчет с использованием соответствующей радиальной нейронной сети [17].

В отличие от компьютерного эксперимента, который длится порядка $10^1 \dots 10^3$ с, нейронная сеть позволяет рассчитать критерий оптимизации за порядка 10^{-6} с. Такое ускорение в $10^7 \dots 10^{10}$ и использование количества факторов 3-7 позволяет применить метод полного упорядоченного перебора для анализа факторного пространства. Так, в наиболее многофакторном для данной работы случае 7 факторов, если каждый фактор перебирать с шагом 10 % от диапазона изменения фактора, получается порядка 10^7 точек факторного пространства. Расчет критерия оптимизации для такого количества точек производится за разумное время порядка 10 с [18-20].

На рис. 7 представлена схема алгоритма упорядоченного перебора с шагом 10 % по каждому фактору, расчета и заполнения многомерной матрицы значений критерия оптимизации.

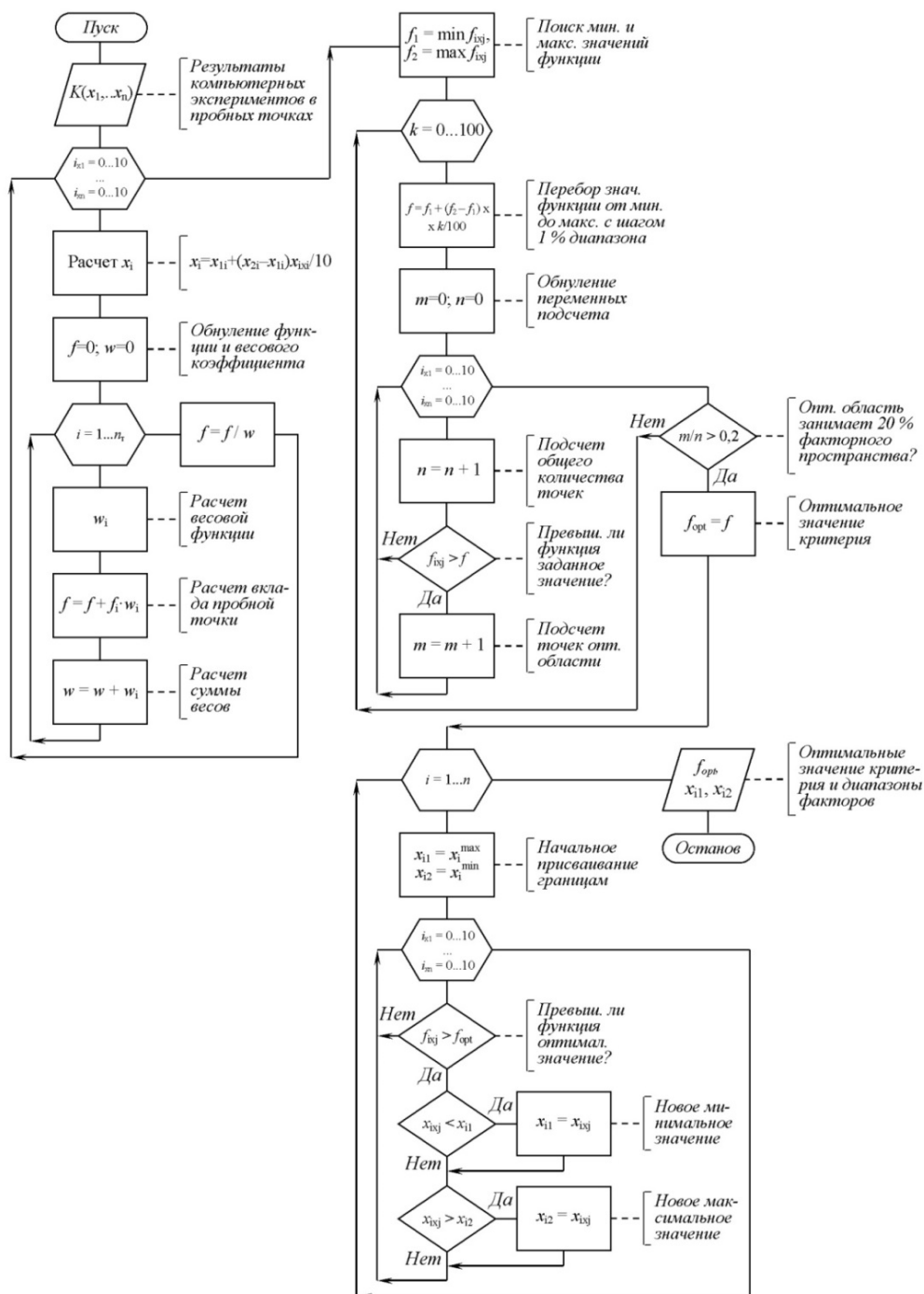


Рис. 7. Схема алгоритма исследования факторного пространства с помощью аппроксимирующей радиальной нейронной сети (собственные разработки)

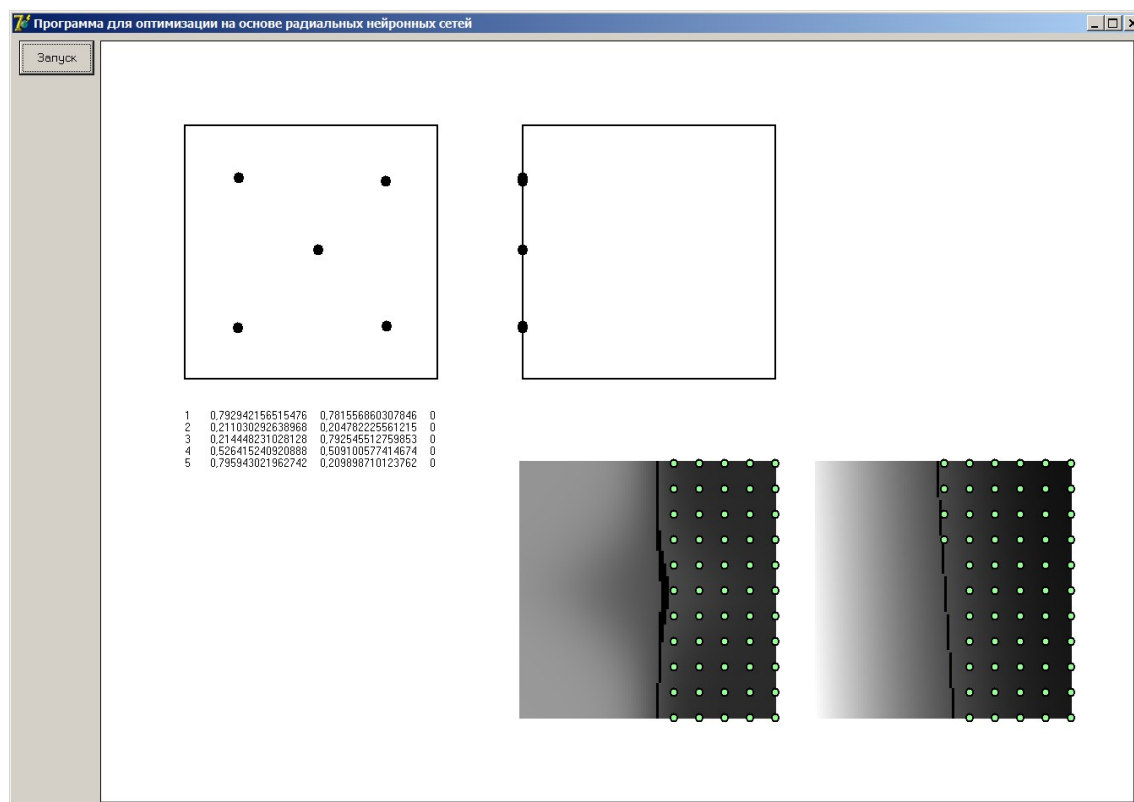


Рис. 8. Программа для оптимизации на основе радиальной нейронной сети (собственные разработки)

Уже сегодня такие математические программы, как Python, STATISTICA, MATLAB и др. имеют функциональные возможности, заключающиеся в обучении и использовании нейронных сетей. Несмотря на это, 90-95 % времени и усилий приходится затрачивать на выполнение исследовательской и технической работы, которая характеризуется высокой трудоемкостью подготовки исходных данных, устранения их ошибок, оптимизации нейронной сети, проверки ее эффективности, вывода на экран в требуемой форме результатов прогнозирования, а также подготовки графических материалов. На основании этого для осуществления нейросетевого прогнозирования разработана специализированная компьютерная программа на языке программирования Object Pascal в среде программирования Borland Delphi 7. Разработанная программа дополнительно позволяет предварительно распределить экспериментальные точки равномерно в многофакторном пространстве (рис. 8).

Для проверки работоспособности используемого метода многофакторной оптимизации и

оценки его эффективности использовали в качестве тестового примера задачу двухфакторной оптимизации. Из трех оптимизируемых функций использовали $P_m(D, k_{то})$, как имеющую наиболее нетривиальный вид.

На рис. 9 в оттенках серого цвета для сравнения показаны поверхности отклика для случая аппроксимации 9 экспериментальных точек полиномом второго порядка и случая аппроксимации 5 экспериментальных точек радиальной нейронной сетью. Несмотря на то что для радиальной нейронной сети используется почти вдвое меньше экспериментальных точек, поверхности отклика практически совпадают.

Так как расчеты с помощью радиальных нейронных сетей ориентировочно в 10^4 раз быстрее, чем проведение компьютерных экспериментов, целесообразно использовать простой, но вычислительно-затратный метод оптимизации – метод упорядоченного перебора. Шаг перебора составлял 5 ... 10 % от диапазонов изменения факторов. Зелеными кругами на рис. 9 отмечены точки анализа

факторного пространства с шагом 10 % от диапазона факторов.

Может наблюдаться некоторое различие между методами аппроксимации в найденных оптимальных областях, однако это пограничная область, которая обычно не рассматривается при выборе оптимальных параметров. Более того, аппроксимация полиномом второго порядка может значительно отличаться от реальных данных из-за упрощенного характера аппроксимирующей функции; этого недостатка лишена радиальная нейронная сеть, для которой сложность аппроксимирующей функции повышается с увеличением количества эталонных (экспериментальных) точек.

Таким образом, предложенный метод многофакторной оптимизации позволяет обеспечить минимум компьютерных экспериментов, равномерно покрывающих многофакторное пространство, при одновременно высокой детализации пред-

ставления поверхностей отклика и обеспечить поиск оптимальных областей факторного пространства.

В соответствии с изложенной выше методикой выполнена оптимизация параметров восьми энергосберегающих систем. Для каждой энергосберегающей системы ниже приведена схема взаимосвязи оптимизируемых параметров и критериев оптимизации (рис. 10).

Результаты многофакторной оптимизации приведены в табл. 2–9. В первой части таблицы для каждого оптимизируемого объекта приведен перечень факторов с обозначениями, единицами измерения, диапазонами поиска, найденными оптимальными диапазонами. Во второй части таблицы приведен перечень критериев оптимизации с указанием обозначения, смысла критерия, оптимального значения.

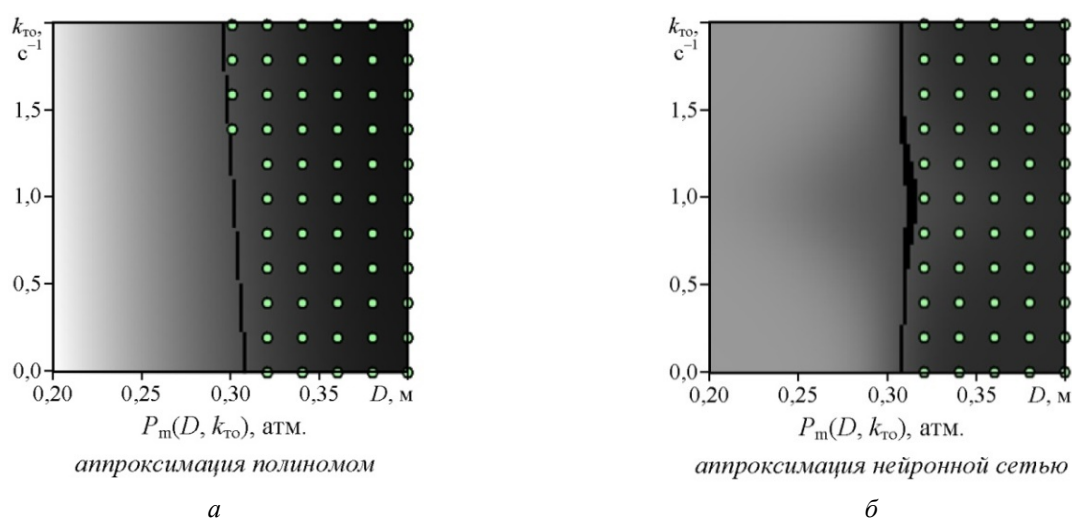


Рис. 9. Сравнение поверхностей отклика $P_m(D, k_{то})$ для двухфакторной оптимизации, полученных путем аппроксимации: *а* – многочленом второго порядка 9 экспериментальных точек; *б* – радиальной нейронной сетью 5 экспериментальных точек (собственные разработки)

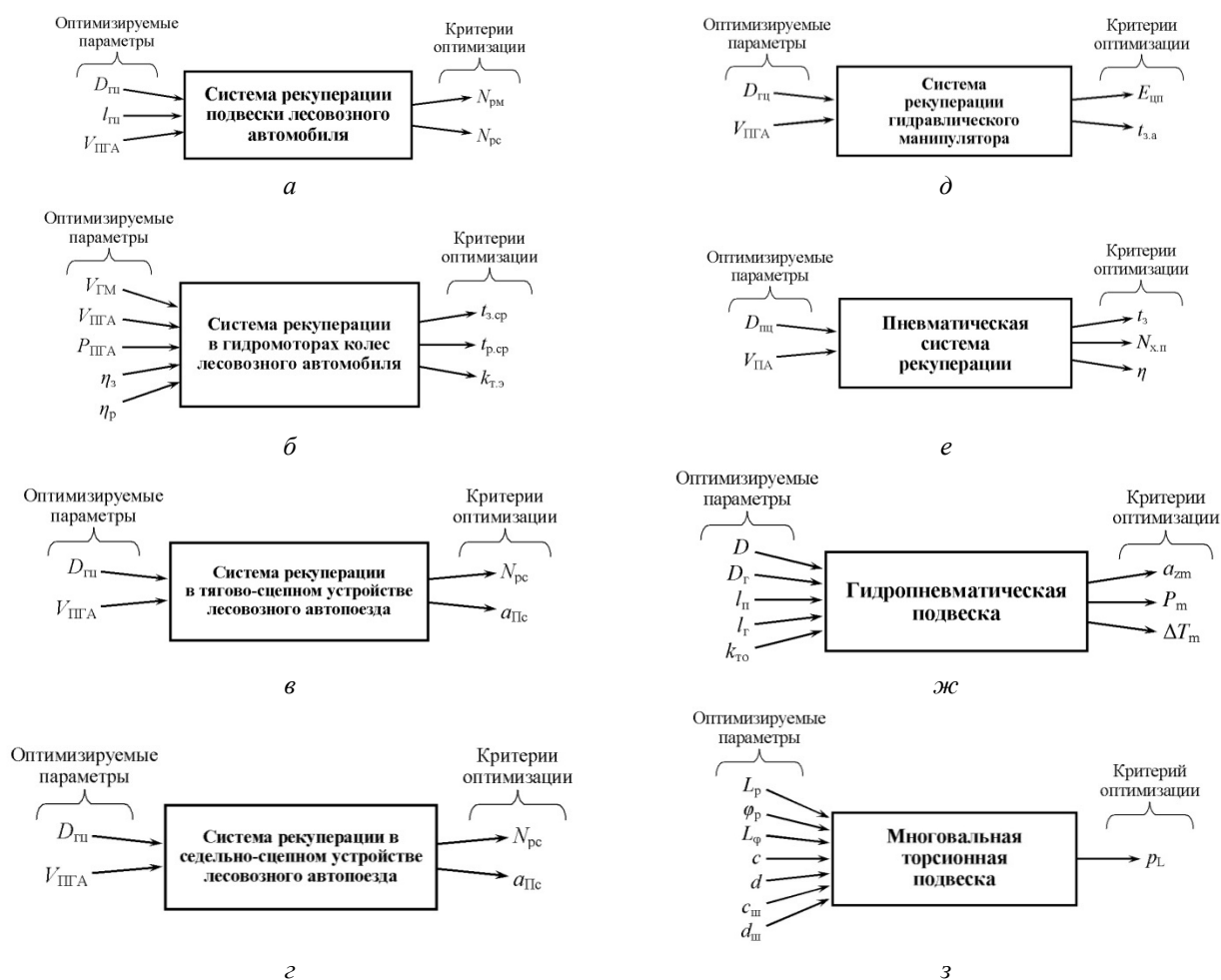


Рис. 10. Взаимосвязь оптимизируемых параметров и критериев оптимизации для энергосберегаемых систем (собственные разработки)

Таблица 2

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров системы рекуперации подвески лесовозного автомобиля

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
$D_{гц}$	диаметр рекуперативного гидроцилиндра в подвеске, мм	20-100	50-70
$l_{гц}$	расстояние хода поршня гидроцилиндра, м	0,10-0,30	0,13-0,19
$V_{ПГА}$	объем пневмогидравлического аккумулятора, м ³	0,05-0,60	0,24-0,60
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
$N_{рм}$	характерный максимум рекуперированной мощности при движении по неровной опорной поверхности, кВт		более 10,0
$N_{рс}$	среднее значение рекуперированной мощности при движении по неровной опорной поверхности, кВт		более 2,5

(собственные вычисления авторов)

Таблица 3

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров системы
рекуперации в гидромоторах колес лесовозного автомобиля

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
$V_{ГМ}$	суммарный рабочий объем гидромоторов, м ³	0,02-0,30	0,06-0,14
$V_{ПГА}$	суммарный объем пневмогидроаккумуляторов, м ³	0,02-0,30	0,20-0,25
$P_{ПГА}$	максимальное давление пневмогидроаккумуляторов, атм.	2,0-10,0	4,7-10,0
η_3	КПД системы рекуперации в режиме зарядки пневмогидроаккумуляторов, %	0-100	83-100
η_p	КПД системы рекуперации в режиме разрядки пневмогидроаккумуляторов, %	0-100	74-100
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
$t_{з.ср}$	среднее время зарядки ПГА от 0 до max возможной энергии, с		более 6
$t_{p.ср}$	среднее время разрядки ПГА от max возможной до 0 энергии, с		более 9
$k_{т.э.}$	коэффициент топливной экономичности, %		более 50

(собственные вычисления авторов)

Таблица 4

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров системы рекуперации
энергии в тягово-сцепном устройстве лесовозного автопоезда

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
D	диаметр рекуперативного гидроцилиндра (или эффективный диаметр нескольких) в тягово-сцепном устройстве, мм	20-00	50-60
$V_{ПГА}$	объем пневмогидравлического аккумулятора, м ³	0,05-0,60	0,24-0,60
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
$N_{рс}$	средняя рекуперлируемая мощность, кВт		более 4,5
$a_{пс}$	среднее продольное ускорение прицепа, м/с ²		менее 1,2

(собственные вычисления авторов)

Таблица 5

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров системы рекуперации энергии в седельно-сцепном устройстве лесовозного автопоезда

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
D	диаметр рекуперативного гидроцилиндра (или эффективный диаметр нескольких) в седельно-сцепном устройстве, мм	20-100	38-52
$V_{\text{ПГА}}$	объем пневмогидравлического аккумулятора, м ³	0,05-0,60	0,31-0,60
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
$N_{\text{рс}}$	средняя рекуперлируемая мощность, кВт		более 6,0
$a_{\text{Пс}}$	среднее продольное ускорение полуприцепа, м/с ²		менее 0,3

(собственные вычисления авторов)

Таблица 6

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров системы рекуперации энергии в гидроманипуляторе лесовозного автопоезда

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
D	диаметр рекуперативного гидроцилиндра, мм	20-60	32-51
$V_{\text{ПГА}}$	объем пневмогидравлического аккумулятора, м ³	0,01-0,15	0,07-0,15
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
$E_{\text{шп}}$	запасаемая в пневмогидравлическом аккумуляторе энергия за один цикл погрузки (либо разгрузки), кДж		более 3,2
$t_{з.а}$	время зарядки пневмогидравлического аккумулятора, с		менее 42

(собственные вычисления авторов)

Таблица 7

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров пневматической системы рекуперации

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
$D_{\text{ПЦ}}$	диаметр пневмоцилиндра, м	0,10-0,50	0,25-0,30
$V_{\text{ПА}}$	объем пневматического аккумулятора, м ³	0,01-0,05	0,02-0,05
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
t_3	время заполнения пневматического аккумулятора до давления 1,5 МПа, с		менее 25
$N_{\text{х.п}}$	количество ходов поршня для заполнения пневматического аккумулятора до давления 1,5 МПа		менее 6
η	тепловой КПД, %		более 92 %

(собственные вычисления авторов)

Результаты оптимизации основных конструктивных параметров гидропневматической подвески

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
D	диаметр пневмоцилиндра, м	0,20-0,40	0,31-0,40
$D_{г}$	диаметр гидроцилиндра, м	0,05-0,30	0,12-0,15
$l_{п}$	расстояние хода поршня пневмоцилиндра, м	0,20-0,50	0,20-0,34
$l_{г}$	расстояние хода поршня гидроцилиндра, м	0,20-0,50	0,20-0,29
$k_{то}$	коэффициент теплоотдачи, c^{-1}	0,0-2,0	0,9-2,0
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
a_{zm}	максимальное вертикальное ускорение подвешенной массы, m/c^2		менее 3,0
P_m	максимальное давление газа в пневмоцилиндре, атм.		менее 5,0
ΔT_m	амплитуда изменения температуры, К		менее 170

(собственные вычисления авторов)

Результаты оптимизации торсионной подвески

Обозначение фактора	Смысл фактора	Диапазоны поиска	Оптимальные диапазоны
L_p	длина рычага подвески, м	0,5-1,5	0,9-1,5
φ_p	угол равновесного положения рычага подвески, градусы	25-35	31-35
L_{φ}	суммарная угловая величина люфта между шестернями, градусы	2-30	2-12
c	коэффициент жесткости на кручение валов подвески, Н·м/рад	20000-200000	20000-110000
d	коэффициент демпфирования на кручение валов подвески, Н·м·с/рад	50-300	140-300
$c_{ш}$	коэффициент жесткости на кручение контактирующих шестерен подвески, Н·м/рад	50000-500000	50000-230000
$d_{ш}$	коэффициент демпфирования на кручение контактирующих шестерен подвески, Н·м·с/рад	50-500	250-500
Обозначение критерия	Смысл критерия		Оптимальное значение
p_L	вероятность люфта (отношение времени, в которое подвеска находится в люфтовом состоянии ко всему времени наблюдения)		менее 0,10

(собственные вычисления авторов)

Выводы

1. Для оптимизации энергосберегающих систем использовали многоуровневую оптимизацию: однофакторную с изучением влияния основных факторов, двухфакторную с анализом наглядных картограмм оптимизации и многофакторную, основанную на равномерном распределении экспериментальных точек в факторном пространстве радиальных нейронных сетей для аппроксимации поверхности отклика и методе полного перебора для поиска оптимальных областей.

2. Разработан математический аппарат равномерного распределения точек в многофакторном

пространстве для обеспечения минимального количества компьютерных экспериментов в случае большого количества измерений (3-7).

3. Использован математический аппарат радиальных нейронных сетей для аппроксимации поверхностей отклика для ускорения последующего поиска оптимальных областей, который целесообразно выполнять методом упорядоченного перебора с шагом 5-10 % от диапазонов изменения факторов.

4. Предложенный метод многофакторной оптимизации позволяет обеспечить минимум компьютерных экспериментов, равномерно покры-

вающих многофакторное пространство, при одновременно высокой детализации представления поверхностей отклика и обеспечить поиск оптимальных областей факторного пространства.

5. Для восьми исследуемых типов энерго-сберегающих систем получены и приведены ре-

зультаты многофакторной оптимизации основных конструктивных параметров и наилучшие диапазоны показателей эффективности.

Библиографический список

1. Modeling and Optimization Design of Hydraulically Interconnected Energy-regenerative Suspension / Chen Long, Zhang Chenglong, Wang Ruochen [et al.] // Nongye Jixie Xuebao. – 2017. – Vol. 48. – Iss. 1, January 25. – P. 303–308. – *Bibliogr.: 20 titles.* – DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.040.

2. Simulation research of a hydraulic interconnected suspension based on a hydraulic energy regenerative shock absorber / Junyi Zou, Xuexun Guo, Lin Xu [et al.] // SAE Technical Paper 2018-01-1582, 2018. – 9 p. – *Bibliogr.: 29 titles.* – DOI: 10.4271/2018-01-0582.

3. Miss Adhav Madhuri Vilas. Modal analysis and investigation of torsion bar strength based on layer orientation angle using composite material / Miss AdhavMadhuri Vilas, D. S. Galhe, Hredaya Mishra // International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology (IJRASET). – 2018. – Vol. 6. – Issue VII, July. – 16 p. – *Bibliogr.: 8 titles.* – DOI: 10.22214/ijraset.2018.7002.

4. Silva Bravo, R. R. Design and analysis of a parallel hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy-duty hybrid vehicle / R. R. Silva Bravo, V. J. De Negri, A. A. M. Oliveira // Applied Energy. – 2018 – Vol. 225. – P. 60–77. – *Bibliogr.: 55 titles.* – DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.04.102.

5. Energy efficiency analysis of drive integrated and energy recuperation system for hydraulic excavator boom / L. Xia, L. Quan, L. Ge, Y. Hao // Energ. Convers. Manage. – 2018. – Vol. 156. – P. 680–687. – *Bibliogr.: 36 titles.* – DOI: 10.1016/j.enconman.2017.11.074.

6. Lu, L. Energy-saving adaptive robust control of a hydraulic manipulator using five cartridge valves with an accumulator / L. Lu, B. Yao // IEEE T. Ind. Electron. – 2014. – Vol. 61(12). – P. 7046–7054. – *Bibliogr.: 27 titles.* – DOI: 10.1109/TIE.2014.2314054.

7. Посметьев, В. И. Результаты компьютерного моделирования движения лесовозного автопоезда с рекуперацией энергии в его подвеске / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесотехнический журнал. – 2018. – № 3. – С. 176–187. – *Библиогр.: 17 назв.* – DOI: 10.12737/article_5b97a15dc46998.19876487.

8. Посметьев, В. И. Результаты компьютерного моделирования рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автомобиля с прицепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Лесной журнал. – 2019. – № 4. – С. 108–123. – *Библиогр.: 20 назв.* – DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.108.

9. Результаты компьютерного моделирования функционирования пневматической подсистемы рекуперативного гидропривода лесовозного тягача с полуприцепом / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев, В. А. Зеликов // Лесотехнический журнал. – 2020. – № 1. – С. 233–243. – *Библиогр.: 12 назв.* – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/17.

10. Nikonov, V. O. The results of simulation modeling of the operation of the regenerative fifth wheel hitch of a timber trailer / V. O. Nikonov, V. I. Posmetev, V. V. Posmetev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 656 (2019) 012039, 8 p. – DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012039.

11. Аренс, Х. Многомерный дисперсионный анализ / Х. Аренс, Ю. Лейтер ; пер. с нем. – Москва : Финансы и статистика, 1985. – 230 с. – *Библиогр.: с. 221–225.*

12. Дегтярев, Ю. И. Методы оптимизации : учеб. пособие для вузов / Ю. И. Дегтярев. – Москва : Советское радио, 1980. – 272 с. – *Библиогр.: с. 262–263.*

13. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений : учеб. пособие / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 279 с. – *Библиогр.: с. 92.*

14. Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – Москва : Финансы и статистика, 2004. – 344 с. – Библиогр.: с. 330–339.
15. Горбань, А. Н. Нейронные сети на персональном компьютере / А. Н. Горбань, Д. А. Россиев. – Новосибирск : Наука, 1996. – 278 с. – Библиогр.: с. 258–272.
16. Еремин, Д. М. Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления / Д. М. Еремин, И. Б. Гарцев. – Москва : МИРЭА, 2004. – 75 с. – Библиогр.: с. 73–75. – ISBN 5-7339-0423-2.
17. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети: Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с. – Библиогр.: с. 377–378.
18. Нейросетевые системы управления / В. А. Терехов, Д. В. Ефимов, И. Ю. Тюкин, В. Н. Антонов. – Санкт-Петербург : Издательство С.-Петербургского университета, 1999. – 265 с. – Библиогр.: с. 260–263.
19. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд. – Москва : Вильямс, 2006. – 1104 с. – Библиогр.: с. 996–1069.
20. Потапов, А. С. Распознавание образов и машинное восприятие: Общий подход на основании принципа минимальной длины описания / А. С. Потапов. – Санкт-Петербург : Политехника, 2007. – 548 с. – Библиогр.: с. 527–548.

References

1. Chen Long, Zhang Chenglong, Wang Ruochen (et al.) (2017) Modeling and Optimization Design of Hydraulically Interconnected Energy-regenerative. *Nongye Jixie Xuebao*, Vol. 48, iss. 1, January 25, pp. 303-308. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.040.
2. Junyi Zou, Xuexun Guo, Lin Xu (et al.) Simulation research of a hydraulic interconnected suspension based on a hydraulic energy regenerative shock absorber. *SAE Technical Paper* 2018-01-1582, 2018. 9 p. DOI: 10.4271/2018-01-0582.
3. Miss Adhav Madhuri Vilas, Galhe D.S., Hredaya Mishra (2018) Modal analysis and investigation of torsion bar strength based on layer orientation angle using composite material. *International Journal for Research in Applied Science Engineering Technology (IJRASET)*, Vol. 6, Iss. VII, July, 16 p. DOI: 10.22214/ijraset.2018.7002.
4. Silva Bravo R.R., De Negri V.J., Oliveira A.A.M. (2018) Design and analysis of a parallel hydraulic-pneumatic regenerative braking system for heavy-duty hybrid vehicle. *Applied Energy*, Vol. 225, pp. 60-77. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.04.102.
5. Xia L., Quan L., Ge L., Hao Y. (2018) Energy efficiency analysis of drive integrated and energy recuperation system for hydraulic excavator boom. *Energ. Convers. Manage.*, Vol. 156, pp. 680-687. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.11.074.
6. Lu L., Yao B. (2014) Energy-saving adaptive robust control of a hydraulic manipulator using five cartridge valves with an accumulator, *IEEE T. Ind. Electron*, Vol. 61 (12), pp. 7046-7054. DOI: 10.1109/TIE.2014.2314054.
7. Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Posmetyev V.V. (2018) *Rezultaty kompyuternogo modelirovaniya dvizheniya lesovoznogo avtopoezda s rekuperaci ejenergii v ego podveske* [The results of computer simulation of the movement of a forest road train with energy recovery in its suspension]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 8, № 3, pp. 176-187 (in Russian). DOI: 10.12737/article_5b97a15dc46998.19876487.
8. Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Posmetyev V.V. (2019) *Rezultaty kompyuternogo modelirovaniya rekuperativnogo tyagovo-scepnogo ustrojstva lesovoznogo avtomobilya s pricepom* [The results of computer simulation of a regenerative towing device of a forest car with a trailer]. *Lesnoj zhurnal* [Lesnoj zhurnal (Russian forestry journal)], № 4, pp. 108-123 (in Russian). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.108.
9. Posmetyev V.I., Nikonov V.O., Posmetyev V.V., Zelikov V.A. (2020) *Rezultaty kompyuternogo modelirovaniya funkcionirovaniya pnevmaticheskoy podsistemy rekuperativnogo gidroprivoda lesovoznogo tyagacha s polupricepom* [The results of computer simulation of the functioning of the pneumatic subsystem of the regenerative hydraulic drive of a timber truck with a semitrailer]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 10, № 1, pp. 233-243 (in Russian). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/17.

10. Nikonov V.O, Posmetev V.I, Posmetev V.V. (2019) The results of simulation modeling of the operation of the regenerative fifth wheel hitch of a timber trailer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 656: 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/656/1/012039.
11. Arens H., Leiter Yu. *Mnogomerni idispersionnii analiz* [Multivariate analysis of variance]. Moscow: Finance and statistics, 1985, 230 p. (in Russian).
12. Degtyarev Yu.I. *Metodi optimizacii: ucheb. posobie dlya vuzov* [Optimization methods: textbook manual for universities]. Moscow: Sovetskoe Radio, 1980, 272 p. (in Russian).
13. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskii Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnikh reshenii* [Planning an experiment when searching for optimal solutions]. Moscow: Nauka, 1976, 279 p. (in Russian).
14. Osovskii S. *Neironnie seti dlya obrabotki informacii* [Neural networks for information processing]. Moscow: Finance and statistics, 2004, 344 p. (in Russian).
15. Gorban' A.N., Rossiev D.A. *Neironnie seti na personalnom kompyutere* [Neural networks on a personal computer]. Novosibirsk: Nauka, 1996, 278 p. (in Russian).
16. Eremin D.M., Garceev I.B. *Iskusstvennie neironnie seti v intellektualnikh sistemakh upravleniya* [Artificial neural networks in intelligent control systems]. Moscow: MIREA, 2004, 75 p. (in Russian).
17. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Iskusstvennie neironnie seti: Teoriya i praktika* [Artificial Neural Networks: Theory and Practice]. Moscow: Hot line – Telecom, 2001, 382 p. (in Russian).
18. Terekhov V.A., Efimov D.V., Tyukin I.Yu., Antonov V.N. *Neirosetevie sistemi upravleniya* [Neural network control systems]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 1999, 265 p. (in Russian).
19. Haikin S. *Neironnie seti: polnii kurs* [Neural networks: full course]. 2nd ed. Moscow: Williams, 2006, 1104 p. (in Russian).
20. Potapov A.S. *Raspoznavanie obrazov i mashinnoe vospriyatie: Obschii podkhod na osnovanii principa minimalnoy dlini opisaniya* [Pattern recognition and machine perception: General approach based on the principle of minimum description length]. St. Petersburg: Polytechnic, 2007, 548 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Посметьев Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Никонов Вадим Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Посметьев Виктор Валерьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: victorvpo@mail.ru.

Information about authors

Posmetyev Valery Ivanovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Production, Repair and Operation of Cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Nikonov Vadim Olegovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Production, Repair and Operation of Cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Posmetyev Viktor Valeryevich – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: victorvpo@mail.ru.

БИОГЕОХИМИЯ НИКЕЛЯ ПРИ ОРОШЕНИИ

кандидат биологических наук, доцент **Т.Н. Крамарева**¹

кандидат биологических наук, доцент **Н.С. Горбунова**²

кандидат биологических наук, доцент **А.И. Громовик**²

кандидат биологических наук, доцент **Е.В. Куликова**³

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация

3 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Геохимической особенностью района исследования является обогащенность почвообразующих и подстилающих пород Ni и, как следствие, высокое содержание металла в грунтовых водах и поверхностных источниках, вода которых используется для орошения. Регулярное поступление элемента с поливными водами приводит к увеличению валового содержания Ni и его обменных соединений в верхних гумусовых горизонтах изучаемых черноземов выщелоченных. Орошение способствует накоплению Ni в зерне и фитомассе растениеводческой продукции. Показано, что длительное орошение приводит к трансформации органического вещества, изменению pH почвенного раствора и значений гидролитической кислотности.

Ключевые слова: геохимия, биогеохимия, никель, валовое содержание, обменные соединения, орошение, черноземы выщелоченные

NICKEL BIOGEOCHEMISTRY IN IRRIGATION

PhD (Biology), Associate Professor **T.N. Kramareva**¹

PhD (Biology), Associate Professor **N.S. Gorbunova**²

PhD (Biology), Associate Professor **A.I. Gromovik**²

PhD (Biology), Associate Professor **E.V. Kulikova**³

1 – FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

2 – FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation

3 – FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

Geochemical feature of the study area is the enrichment of parent and underlying species with nickel, and, as a consequence, the high metal content in the groundwater and surface sources, the water of which is used for irrigation. Regular supply of the element with irrigation water leads to an increase in the total nickel content and its exchange compounds in the upper humus horizons of the studied leached black soils. Irrigation contributes to the nickel accumulation in grain and phytomass of crop production. It is shown that long-term irrigation leads to the transformation of organic matter, change in the pH of the soil solution and values of hydrolytic acidity.

Keywords: geochemistry, biogeochemistry, nickel, gross content, exchangeable compounds, irrigation, leached chernozem

Введение

Вопросам геохимического и биогеохимического поведения тяжелых металлов (ТМ), в том числе Ni, в почвах уделено достаточно внимания. Так, на заре становления геохимии как науки А.П. Виноградовым были установлены кларки данного элемента в литосфере и в почвах, в том числе и в черноземах [3]. Полученные ранее значения постоянно уточняются и обновляются другими исследователями [9, 18]. Геохимической особенностью Ni является то, что он входит в состав кристаллических решеток силикатов, карбонатов, оксидов, сульфидов, арсенидов. Процесс выветривания сопровождается сорбцией Ni органическим веществом, глинами, оксидами Fe и Mn [9]. Кларки Ni в литосфере и почвах составляют 20 и 29 мг/кг соответственно [18].

В исследуемых лесостепных ландшафтах Ni является малоподвижным элементом, слабо мигрирующим по почвенному профилю. Такая особенность поведения определяется физико-химическим строением ядра атома металла. Атом Ni представлен следующей электронной конфигурацией: $3d^8 4s^2$, заполненность внешней орбитали определяет его малую активность как химического элемента. Но, вместе с тем, Ni активно сорбируется гуминовыми кислотами органического вещества почв черноземного ряда. В сорбционном процессе металлов (в том числе Ni) гумусом участвуют карбоксильные и фенольные группы, которые входят в состав органического вещества. Процесс осуществляется с помощью замещения водородного катиона никелем. В результате образуются хелаты, в молекуле которых Ni расположен в анионной части органического вещества. Определяющую роль в соединении оказывают координационные связи, в последствии Ni утрачивает способность проявлять свои «катионные свойства». В целом такое расположение элемента в молекуле делает металл неактивным. Как поливалентный элемент, Ni взаимодействует с гуминовыми кислотами (которыми богаты почвы черноземного ряда) с образованием комплексных гетерополярных солей [10]. Отмечается и «обратное» взаимодействие: так, по данным Ю.Н. Водяницкого [4], при увеличении содержания Ni в черноземах более чем 40 мг/кг происходит уменьшение содержания гумуса. Другие авторы отмечают накопление Ni в иллювиальном карбо-

натном горизонте черноземов [9]. Но, скорее всего, такое происходит в результате накопления Ni в илистой фракции, обогащенной минералами типа монтмориллонита, а не карбонатами. С точки зрения химической активности и электронной конфигурации атомов металл не способен вступать в обменные реакции с карбонатом кальция, зато интенсивно сорбируется глинистыми минералами.

Ni – достаточно распространенный элемент как земной коры, так и различных компонентов биосферы. Обычно количество Ni в растениях не превышает десятки мг/кг, но существуют растения-эндемики, которые накапливают металл в своих органах и тканях [1]. В литературе нет единого мнения, относить Ni к биоэлементам или токсикантам. Так, по данным ряда авторов [1, 16, 17], относительно низкое содержание Ni вызывает хлорозы и некрозы растительных организмов. Металл участвует в активации целого ряда ферментов. Например, входит в состав уреазы, которая катализирует превращение мочевины в аммиак, тем самым предотвращая ее накопление до токсичных концентраций. Но, в то же время, Ni при избыточных концентрациях является фитотоксичным элементом. При высоком содержании Ni также отмечаются поражения листового аппарата некротического и хлоротического происхождения. Повышенное (до критических уровней) содержание металла диагностируется в морфологических изменениях растений. Так, наблюдается отрицательный геотропизм листьев, поскольку происходит нарушение водного баланса растений. При избыточном содержании Ni в растительных организмах на уровне клеток отмечается сбой митоза и цитокинеза, нарушение в работе ядра и ДНК.

Исследователями получены многочисленные и весьма противоречивые данные по количественному содержанию металла в растительных организмах. Разброс значений составляет от 0,1 [7] до 8,1 мг/кг [15]. Такой широкий диапазон связан с геохимическими особенностями районов исследований. Известно, что растения способны адаптироваться к внешним факторам, накапливая одни элементы и испытывая дефицит в других. Очень часто растительные организмы являются биоиндикаторами окружающей среды и общего геохимического фона.

Все вышесказанное подчеркивает важность цели исследования, но большинство работ посвящено биогеохимическим особенностям поведения Ni в почвах естественных ценозов или вовлеченных в сельскохозяйственное производство, но без применения мелиоративных приемов. А в настоящее время получение высоких урожаев невозможно без регулярных мелиораций, и в первую очередь без орошения, поскольку орошение очень часто выступает лимитирующим фактором почвенного плодородия. Но вместе с тем, орошение способствует трансформации не только почвенных свойств, но и всего почвенного покрова, чаще всего в сторону его деградации [2, 14]. Кроме того, крайне мало освещено в литературе влияние орошения на миграционную способность ТМ, в том числе Ni в почвенном профиле, в ландшафтах и в растительных организмах. Учитывая описанные биогеохимические особенности и характеристики исследуемого элемента, важно регулярно проводить комплексные мониторинговые исследования черноземов, особенно если они интенсивно используются в сельском хозяйстве, подвергаясь мелиоративным мероприятиям, что и послужило целью данного исследования.

Объекты и методы исследования

С целью изучения влияния орошения на особенности накопления и трансформации Ni в почвенном профиле черноземов было исследовано хозяйство ООО «Тербуны-Агро» (Хлевенский район, Липецкая область). На территории хозяйства доминирующим почвенным типом являются черноземы выщелоченные среднемощные мало- и среднегумусные тяжелосуглинистые. Почвообразующей породой послужили покровные карбонатные тяжелые суглинки и глины. Исследовались пахотные угодья (поля с применением орошения и без оросительных мелиораций). В качестве «фоновой» почвы изучались территории залежного участка, расположенного в непосредственной близости от района исследования.

Закладка почвенных разрезов осуществлялась на указанных участках до глубины залегания почвообразующей породы. Почвенные образцы отбирались послойно через каждые 10 см (0-10, 20-30 ... 140-150 см). В почвенных образцах

по общепринятым методикам [13] определялись рН водной суспензии, гидролитическая кислотность H^+ , содержание гумуса. Выбранные показатели определяют био- и геохимические закономерности поведения большинства ТМ, в том числе и Ni. Для определения валового содержания Ni проводили спекание почвы с карбонатом натрия, дальнейшей обработкой HNO_3 (1:1) и H_2O_2 (конц.). Для извлечения обменных соединений металла из почвы образцы обрабатывали ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с рН = 4,8 в соотношении 1:10. Для получения количественного содержания Ni в растениях исследовались зерно и фитомасса кукурузы (*Zea mays* L.). Зерно и фитомасса предварительно озолялись, далее золу растворяли в HNO_3 (1:1). Конечное определение металла в растительных, почвенных образцах и пробах воды, используемой для орошения, проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрометре КВАНТ-Z.ЭТА, чувствительность определения 0,01 мкг/л, точность измерения 4 % [11]. Чтобы оценить пригодность воды для орошения, были определены ее ионный состав и общая минерализация. Определялись сульфат-, хлорид-, карбонат-анионы и катионы кальция, магния и натрия. Исходя из их соотношения, присваивался тип минерализации. Вариационно-статистическая обработка проводилась с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Орошение сельскохозяйственных угодий на территории хозяйства осуществляется установками «ФРЕГАТ», поливная вода поступает из местных прудов. Данные по катионно-анионному составу поливной воды приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ионный состав поливной воды в мг-экв/л (n = 5),
собственные вычисления авторов

Анионы	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	3,1±0,07	0,8±0,01	0,9±0,01
Катионы,	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	2,6±0,05	1,0±0,01	1,1±0,02

Примечание: n – количество образцов;
 \bar{x} – среднее арифметическое, мг-экв/л; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического.

Степень минерализации составляет $0,4 \pm 0,03$ г/л, что позволяет отнести используемую для орошения воду к пресным. Данные табл. 1 свидетельствуют о гидрокарбонатно-кальциевом составе поливной воды. Никель содержится в поливной воде в количестве $0,017 \pm 0,001$ мг/л, что не превышает ПДК = $0,02$ мг/л, принятых для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [6].

Орошение представляет собой наиболее распространённое мелиоративное воздействие, которое в последнее время все чаще используется не только в аридных, но и в гумидных областях. Данный мелиоративный прием является антропогенным вмешательством, поскольку ведет не только к трансформации, но иногда и деградации почвенного покрова. В первую очередь данные изменения отражаются на морфологическом строении почвенного профиля. Происходит увеличение мощности гумусового горизонта (который составляют горизонты А + АВ) в среднем на 15 ± 2 см. Сравнение морфологии проводилось относительно черноземов выщелоченных залежного участка, а также неорошаемой пашни. Морфологический анализ проверялся результатами лабораторно-аналитических исследований. Так, валовое содержание гумуса (рис. 1) в почвах залежи и неорошаемой пашни постепенно уменьшается до глубины 30 см, далее происходит более отчетливое падение. В черноземах выщелоченных при орошении такого градиента падения не отмечается, происходит некоторое «вымывание» и перераспределение органического вещества вниз по почвенному профилю. Границы перехода между гумусовыми и нижележащими горизонтами стали постепенными и размытыми. Перераспределение органического вещества в результате орошения отмечается и в его процентном содержании. Если в черноземах выщелоченных залежи содержание гумуса достигает $7,11 \pm 0,19$ % (почва диагностируется как среднегумусная), то при распашке, в результате усиленной минерализации и безвозвратного выноса питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур, количество гумуса падает до $5,90 \pm 0,12$ %. Орошение еще сильнее сокращает содержание гумуса ($5,61 \pm 0,15$ %) за счет профильного перераспределения. В итоге

интенсивное сельскохозяйственное использование черноземов выщелоченных в комплексе с оросительными мелиорациями трансформирует почвенный покров – черноземы из среднегумусных становятся малогумусными.

Заметной трансформации в результате сельскохозяйственного использования и орошения подвергаются и значения рН. Так, черноземы выщелоченные залежного участка имеют реакцию среды, близкую к нейтральной, рН составляет $6,8 \pm 0,05$ единиц. В результате распашки, а особенно при орошении, происходит подкисление почвенного раствора до $6,1 \pm 0,03$ и $5,8 \pm 0,03$ единиц соответственно. Данное явление связано с естественными процессами выщелачивания карбонатов (при полупромывном типе водного режима), которые усиливаются орошением. По профилю с глубиной происходит постепенное увеличение рН до щелочных значений (рис. 2) в результате влияния карбонатных почвообразующих пород, на которых образовались исследуемые черноземы выщелоченные. Гидролитическая кислотность зависит от рН почвенного раствора, но характеризует, прежде всего, состояние почвенно-поглощающего комплекса, а именно долю обменного водорода. Обменный водород, входя в почвенно-поглощающий комплекс, делает его менее устойчивым к внешним воздействиям, в том числе и к загрязнению тяжелыми металлами. Так, в неорошаемых черноземах выщелоченных на долю поглощенного H^+ приходится до $1,5 \pm 0,07$ смоль(экв)/кг почвы. Орошение увеличивает количество H^+ до $3,4 \pm 0,09$ смоль(экв)/кг почвы. Следует отметить, что орошение приводит к проникновению обменного H^+ в более глубокие слои почвенного профиля и отмечается даже на глубине 70-80 см.

Никель. В почвообразующих породах, на которых сформировались изучаемые черноземы, относительно литосферы происходит концентрирование элемента ($K_{к Ni} = 1,8$). Данное явление связано с особенностями геохимической провинции Центрально-Черноземного региона, в пределах которой проводились исследования [12]. По нашим данным, валовое содержание Ni в изучаемых покровных суглинках и глинах в среднем равно $35,8 \pm 0,98$ мг/кг. При этом количество обменного Ni

очень низкое – $0,61 \pm 0,05$ мг/кг. Процент подвижности элемента (от валового содержания) низкий и не превышает 2 %. Известно, что Ni в щелочной среде является малоактивным химическим элементом.

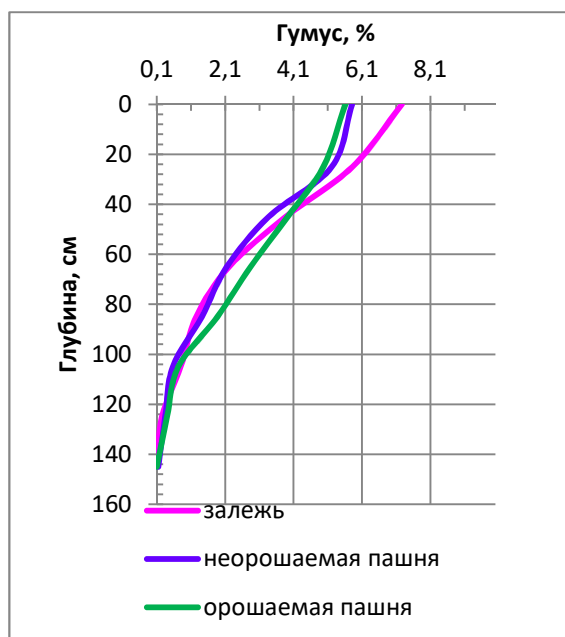


Рис. 1. Профильное распределение гумуса в исследуемых почвах (собственные вычисления авторов)

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о концентрации металла относительно литосферы ($K_k = 1,05$), поскольку содержание Ni в изучаемых почвах больше его кларка, а относительно почвообразующей породы происходит его рассеивание ($K_r = 1,18$). Коэффициент радиальной дифференциации R, представляющий собой отношение содержания химического элемента (Ni) в генетическом горизонте почвы к его содержанию в почвообразующей породе, равен 0,86. Коэффициент латеральной дифференциации L – отношение содержания элемента в почвах подчиненных ландшафтов к автономным – равен 0,98.

Как было отмечено выше, содержание Ni в поливной воде не превышает значения ПДК [6]. Но обращает на себя внимание то, что значения очень приближены к ПДК, поэтому необходимо регулярно следить за состоянием поливных вод и почвенного покрова. Повышенное содержание Ni связано с геохимическими особенностями региона исследования. Природные воды, так же как и породы, несколько обогащены исследуемым элементом.

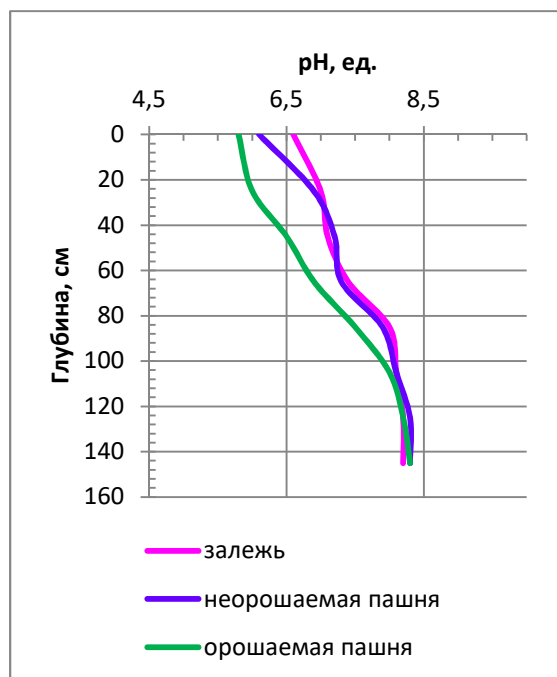


Рис. 2. Динамика pH почвенного раствора с глубиной по профилю исследуемых почв (собственные вычисления авторов)

В исследуемых черноземах выщелоченных максимальное валовое содержание Ni (рис. 3) отмечается в верхнем 0-10 см слое орошаемого участка (в среднем $34,9 \pm 1,01$ мг/кг), меньше его в черноземах залежи ($32,7 \pm 1,05$ мг/кг) и самое низкое содержание отмечено в черноземах пашни ($30 \pm 0,99$ мг/кг). Максимальное валовое содержание металла в верхних горизонтах орошаемых черноземов связано с поступлением элемента с обогащенными Ni оросительными водами. Вниз по профилю происходит постепенное снижение валового содержания Ni. Как отмечалось выше, металл активно сорбируется гумусом, образуя труднорастворимые хелатные соединения и гетерополярные соли.

Далее с различной глубиной (рис. 3) отмечается постепенный рост в валовом содержании элемента к почвообразующей породе, которая обогащена Ni. Такая динамика объясняется влиянием сельскохозяйственного использования почв. Так, орошение перераспределяет и выносит не только границу гумусового горизонта, но и илистую фракцию в более глубокие слои. Никель, в свою очередь, способен сорбироваться илистой фракцией и проникать в более глубокие горизонты почвенного профиля. Профильное распределение валового со-

держания Ni характеризуется двумя пиками накопления: первый отмечается в верхнем гумусовом горизонте за счет образования труднорастворимых комплексных соединений металла с гуминовыми кислотами органического вещества черноземов. Второй максимум наблюдается на границе залегания почвообразующих пород, геохимической особенностью которых является их обогащенность Ni. Ошибка среднего арифметического для валового содержания Ni не превышает $\pm 1,90$, что свидетельствует о достоверности полученных данных. Полученные нами данные по валовому содержанию Ni не превышают ПДК = 100 мг/кг [4, 5], принятых для почв черноземного ряда.

Что касается обменных форм элемента, то они определяются геохимической особенностью Ni, его малоподвижностью в нейтральной и слабощелочной среде [1, 12].

Однако в работах Sposito [19] отмечается, что Ni может находиться в диффузном слое, что определяет его мобильность и способность к миграции. Кроме того, эти формы соединений, как отмечалось, во многом определяются биогенным фактором, сопровождающимся биогенно-аккумулятивным накоплением вещества. Вследствие этого профильное распределение обменного Ni носит аккумулятивный характер.

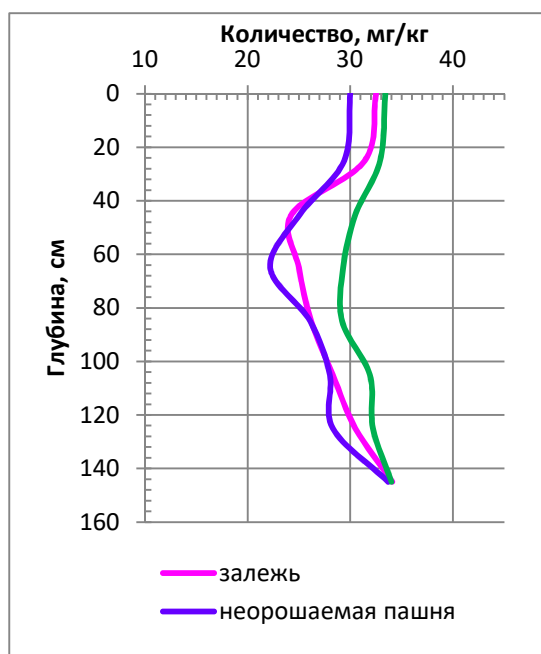


Рис. 3. Профильное распределение валового содержания Ni в исследуемых почвах (собственные вычисления авторов)

Содержание обменных соединений Ni в исследуемых черноземах выщелоченных отмечается в пределах от $1,07 \pm 0,06$ до $1,29 \pm 0,09$ мг/кг (рис. 4). Как и для валового содержания металла, его обменные формы соединений накапливаются в почвах, подверженных оросительным мероприятиям. Несколько меньше обменных соединений никеля отмечается в черноземах залежи и пашни. На рис. 4, изображающем профильное распределение обменной формы Ni, отмечается наибольшее его содержание в верхнем слое (1,3 мг/кг) и постепенное снижение с глубиной. Данное распределение можно объяснить биогенной аккумуляцией элемента. Кроме того, естественная карбонатность почвообразующих пород, их обогащенность илистой фракцией, которая активно сорбирует ТМ, способствует более прочному удержанию элемента в малоподвижном состоянии. Полученные данные свидетельствуют о невысокой степени подвижности Ni в исследуемых черноземах выщелоченных. Процент обменной формы Ni от валового содержания составляет от 1,5 до 3,6 %, а степень подвижности уменьшается с глубиной. Ошибка среднего арифметического для обменной формы Ni не превышает $\pm 0,34$.

Полученные данные свидетельствуют, что валовое содержание Ni и его обменные соединения во всех исследуемых черноземах не превышают ПДК, что говорит об отсутствии загрязнения почв данным элементом. Содержание металла в поливной воде близко к значению ПДК, и регулярный полив такой водой может провоцировать накопление элемента в почвенном покрове. Поэтому следует регулярно проводить мониторинговые исследования по содержанию Ni как в поливной воде, так и в почвенном покрове.

Низкая степень подвижности металла свидетельствует о его слабой миграции по профилю почв и в ландшафте, что снижает возможность вторичного загрязнения местности в результате применения оросительных мелиоративных мероприятий. Количество обменных соединений Ni не превышает ПДК = 4 мг/кг, принятых для черноземных почв [4, 5], что позволяет считать исследуемые черноземы выщелоченные не загрязненными Ni.

Содержание Ni в зерне кукурузы находится в пределах от 2,75 до 4,78 мг/кг и до $10 \pm 0,87$ мг/кг в наземной фитомассе. Для фитомассы наземных растений, в том числе и культурных, характерно увеличение концентрации металлов, что связано с биологическими особенностями растительных организмов. Тем самым растения выполняют барьерную функцию. Наибольшие его количества отмечаются при использовании орошения. С оросительными водами поступает дополнительное количество элемента, который далее поступает в растительные организмы. Орошение усиливает процессы, происходящие и в почвах, и в растительных организмах. Растения активно потребляют элементы минерального питания, необходимые для активного роста. Ni в данном случае также может выступать как необходимый элемент, входя в состав уреазы.

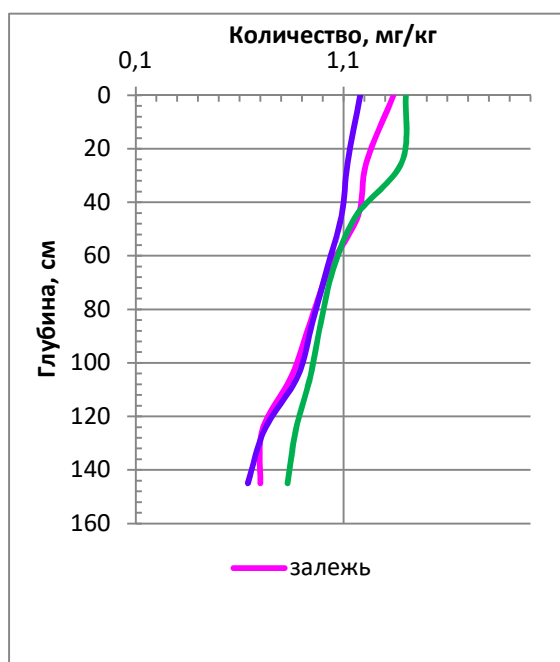


Рис. 4. Профильное распределение подвижных соединений Ni в исследуемых почвах (собственные вычисления авторов)

ПДК Ni в зерне продукции растениеводства составляет 5 мг/кг [7, 8], полученные нами данные не превышают показатель. Но следует очень внимательно следить за качеством продукции, поскольку регулярные поступления с оросительными водами на фоне повышенного геохимического содержания элемента способны приводить к накоплению металла.

Заключение

Исследования по влиянию орошения на трансформацию почвенного профиля и особенностей биогеохимического поведения никеля показали, что со временем происходит трансформация основных почвенных процессов. Длительное орошение приводит к усиленной минерализации и профильному перераспределению органического вещества. Происходит подкисление реакции среды и увеличение доли обменного водорода вследствие процессов декарбонатизации.

В геохимическом отношении исследуемые черноземы выщелоченные характеризуются как концентраторы Ni относительно литосферы, но относительно почвообразующей породы происходит его рассеивание.

За счет постоянного поступления Ni в составе оросительных вод отмечается накопление металла (как валового содержания, так и обменных соединений) в верхних горизонтах орошаемых черноземов.

Профильное распределение валового содержания Ni характеризуется двумя максимумами накопления: в верхнем органогенном горизонте, за счет образования слабо подвижных комплексных соединений металла с органическим веществом, а второй – на границе залегания почвообразующих пород, обогащенных Ni. Для обменного Ni характерно накопление его в верхней части профиля и постепенное снижение с глубиной. Степень подвижности металла невелика.

Количество Ni в зерне кукурузы, возделываемой хозяйством, находится в пределах ПДК. В фитомассе содержание Ni выше в 2 раза по сравнению с зерном, что характерно для большинства наземных растений. Растения, накапливая ТМ в своей фитомассе, выполняют барьерную функцию. Использование орошения усиливает процессы поступления и накопления не только питательных элементов в растения, но и токсикантов, в том числе и никеля.

Валовое содержание Ni и его обменных соединений во всех исследуемых почвах не превышает ПДК, установленных для почв черноземного ряда. С целью предотвращения загрязнения почвенного покрова и сопредельных сред следует про-

водить регулярные мониторинговые биогеохимические исследования по содержанию металла в поливной воде, почвенном покрове орошаемого уча-

стка, а также в сельскохозяйственных растениях, выращиваемых на данной территории.

Библиографический список

1. Никель в растениях / И. В. Андреева, В. В. Говорина, С. Б. Виноградова, Б. А. Ягодин // *Агрохимия*. – 2001. – № 3. – С. 82–94.
2. Особенности агротехники зерновой кукурузы на орошаемых землях нижнего Поволжья / В. В. Бородычев, Н. Н. Дубенок, А. Е. Новиков, Г. В. Коновалова // *Плодородие*. – 2016. – № 1. – С. 35–37.
3. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных химических в почвах / А. П. Виноградов. – Москва : Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
4. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) / Ю. Н. Водяницкий // *Почвоведение*. – 2013. – № 7. – С. 872–881. – DOI: 10.7868/S0032180X13050171.
5. Водяницкий, Ю. Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю. Н. Водяницкий // *Почвоведение*. – 2012. – № 3. – С. 368–375.
6. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – Москва, 2003.
7. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с. – ISBN: 5-02-029422-5.
8. Тяжелые металлы в почвах и растениях устья реки Дон и побережья Таганрогского залива / Т. М. Минкина, Ю. А. Федоров, Д. Г. Невидомская [и др.] // *Почвоведение*. – 2017. – № 9. – С. 1074–1089. – DOI: 10.7868/S0032180X17070061.
9. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – Москва : Астрель-2000, 1999. – 768 с.
10. Соколова, Т. А. Низкомолекулярные органические кислоты в почвах: источники, состав, содержание, функции в почвах (обзор) / Т. А. Соколова // *Почвоведение*. – 2020. – № 5. – С. 559–575. – DOI: 10.31857/S0032180X20050159.
11. Спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ–Z.ЭТА. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ГКНЖ.0900.000Т0. – Москва, 1995. – 57 с.
12. Шевырев, Л. Т. Эволюция тектонической структуры Воронежской антеклизы и ее эндогенный рудогенез / Л. Т. Шевырев, А. Д. Савко, А. В. Шишов. – Воронеж : ВГУ, 2004. – 191 с.
13. Щеглов, Д. И. Основы химического анализа почв / Д. И. Щеглов, А. И. Громовик, Н. С. Горбунова. – Воронеж, 2019. – 332 с. – ISBN 978-5-9273-2738-6.
14. Щедрин, В. Н. Влияние регулярного и циклического видов орошения на почвенное плодородие и продуктивность чернозема обыкновенного Азовской оросительной системы / В. Н. Щедрин // *Почвоведение*. – 2016. – № 2. – С. 249–256. – DOI 10.7868/S0032180X16020118.
15. Beker, D. E. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health / D. E. Beker, L. Chesnin // *Advances in Agronomy*. – 1975. – V. 27. – P. 306–366.
16. Dalton, D. A. Nickel as a micronutrient element for plants / D. A. Dalton, S. A. Russel, H. J. Evans // *Bio-Factors*. – 1988. – V. 1. – № 1. – P. 11–16.
17. Eskew, D. Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role / D. Eskew, R. M. Welch, W. A. Norvell // *Plant Physiol*. – 1984. – V. 76. – № 3. – P. 691–693.
18. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. – 4th ed. – Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. – 548 p. – DOI: 10.1201/b10158.
19. Sposito, G. The Chemistry of Soils / G. Sposito. – New York : Oxford University Press, 1989. – 279 p.

References

1. Andreeva I.V., Govorina V.V., Vinogradova S.B., Jagodin B.A. (2001) *Nikel' v rasteniyah* [Nickel in plants]. *Agrokhimiya*, № 3, pp. 82-94 (in Russian).
2. Borodychev V. V., Dubenok N.N., Novikov A.E., Konovalova G.V. (2016) *Osobennosti agrotehniki zernovoj kukuruzy na oroshaemyh zemljah nizhnego Povolzh'ja. Plodorodie*, № 1, pp. 35-37 (in Russian).
3. Vinogradov A.P. *Geohimija redkih i rassejannyh himicheskikh v pochvah*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1957, 238 p. (in Russian).
4. Vodjanickij Ju.N. (2013) *Zagrjaznenie pochv tjazhelymi metallami i metalloidami i ih jekologicheskaja opasnost' (analiticheskij obzor)*. *Pochvovedenie*, № 7, pp. 872-881 (in Russian). DOI: 10.7868/S0032180X13050171.
5. Vodjanickij Ju.N. (2012) *Normativy sodержaniya tjazhelyh metallov i metalloidov v pochvakh*. *Pochvovedenie*, № 3, pp. 368-375 (in Russian).
6. GN 2.1.5.1315-03. *Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v vode vodnyh ob#ektov hozjajstvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovanija*. Moscow, 2003 (in Russian).
7. Il'in V.B. *Tjazhelye metally v sisteme pochva – rastenie*. Novosibirsk: Nauka, 1991, 151 p. (in Russian). ISBN: 5-02-029422-5.
8. Minkina T.M., Fedorov Ju.A., Nevidomskaja D.G. (et al.) (2017) *Tjazhelye metally v pochvah i rastenijah ust'ja reki don i poberezh'ja taganrogskogo zaliva*. *Pochvovedenie*, № 9, pp. 1074-1089 (in Russian). DOI: 10.7868/S0032180X17070061.
9. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geohimija landshafta*. Moscow: Astreja-2000, 1999, 768 p. (in Russian).
10. Sokolova T.A. (2020) *Nizkomolekuljarnye organicheskie kisloty v pochvah: istochniki, sostav, sodержanie, funkcii v pochvah (obzor)*. *Pochvovedenie*, № 5, pp. 559-575 (in Russian). DOI: 10.31857/S0032180X20050159.
11. *Spektrometr atomno-absorbcionnyj KVANT–Z.JeTA. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii*. GKNZh.0900.000T0. Moscow, 1995, 57 p. (in Russian).
12. Shevyrev L.T., Savko A.D., Shishov A.V. *Jevoljucija tektonicheskoy struktury Voronezhskoj anteklizy i ee jendogennyj rudogenez*. Voronezh, 2004, 191 p. (in Russian).
13. Shcheglov D.I., Gromovik A.I., Gorbunova N.S. *Osnovy himicheskogo analiza pochv* [Fundamentals of soil chemical analysis]. Voronezh, 2019, 332 p. (in Russian). ISBN 978-5-9273-2738-6.
14. Shchedrin V.N. (2016) *Vlijanie reguljarnogo i ciklicheskogo vidov oroshenija na pochvennoe plodorodie i produktivnost' chernozema obyknovenogo Azovskoj orositel'noj sistemy*. *Pochvovedenie*, № 2, pp. 249-256. (in Russian). DOI: 10.7868/S0032180X16020118.
15. Beker D.E., Chesnin L. (1975) Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health. *Advances in Agronomy*, V. 27, pp. 306-366.
16. Dalton D.A., Russel S.A., Evans H.J. (1988) Nickel as a micronutrient element for plants. *Bio-Factors*, V. 1, № 1, pp. 11-16.
17. Eskew D., Welch R.M., Norvell W.A. (1984) Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role. *Plant Physiol.*, V. 76, № 3, pp. 691-693.
18. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010, 548 p. DOI: 10.1201/b10158.
19. Sposito G. *The Chemistry of Soils*. New York: Oxford University Press, 1989, 279 p.

Сведения об авторах

Крамарева Татьяна Николаевна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: tkramarewa@mail.ru.

Горбунова Надежда Сергеевна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vilian@list.ru.

Громовик Аркадий Игоревич – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: agrom.ps@mail.ru.

Куликова Елена Владимировна – кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: milenica@mail.ru.

Information about authors

Kramareva Tatyana Nikolaevna – PhD (Biology), Associate Professor, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies", Voronezh, Russian Federation; e-mail: tkramarewa@mail.ru.

Gorbunova Nadezhda Sergeevna – PhD (Biology), Associate Professor, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: vilian@list.ru.

Gromovik Arkady Igorevich – PhD (Biology), Associate Professor, FSBEI HE "Voronezh State University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: agrom.ps@mail.ru.

Kulikova Elena Vladimirovna – PhD (Biology), Associate Professor, FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation; e-mail: milenica@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУШИЛКИ СБ-2 ООО «ДОЗА-АГРО» В СОСТАВЕ ЛИНИЙ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ

кандидат технических наук **А. Г.Сергеев**

ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Технологии безотходной переработки древесины обусловлены экономическими и экологическими аспектами. Одним из этапов таких технологий является переработка древесных отходов в топливные пеллеты, для производства которых используются соответствующие линии, которые включают большое количество различных машин. В статье приведены результаты исследований рабочего процесса сушилки СБ-2 производства ООО «Доза-Агро», входящей в состав данных линий, представлена ее схема и описан принцип работы, дана оценка эффективности рабочего процесса сушилки в зависимости от параметров исходного сырья. Исследование рабочего процесса сушильного барабана проводилось в условиях хозяйств ИП Кабанов, ИП Братчиков, ООО «Пенза-Пеллет», ООО «Тольяттинский пеллетный завод», ООО «Промлесилим», ООО «Маслянинский ЛПХ», ООО «Эколеспром», ООО «Брянский бройлер», ООО «Тандем ВП». Определялось влияние влажности исходного сырья, температуры исходного сырья и размера частиц исходного сырья. Размер частиц оценивался площадью их поверхности. Эффективность работы сушилки оценивали ее производительностью, выраженной в процентном соотношении от максимально возможной и полученной при оптимальных условиях. После обработки статистической информации получена модель регрессии второго порядка, характеризующая процесс сушки дробленого материала в сушилке СБ-2. Выявлено, что наибольшее влияние на рабочий процесс сушилки СБ-2 оказывает влажность исходного сырья. Процесс сушки дробленого древесного материала отличается от процесса сушки стружки, а именно наименьшее влияние на производительность сушилки при сушке дробленого материала оказывает его температура, а при сушке стружки – ее размеры.

Ключевые слова: древесные отходы, пеллеты, производительность сушилки, стружка, сушка.

WORKING PROCESS OF SB-2 DRYER (DOZA-AGRO LLC) IN THE COMPOSITION OF FUEL PELLETS PRODUCTION LINES

PhD (Engineering) **A.G. Sergeev**

Doza-Agro LLC, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract

Waste-free wood processing technologies are conditioned by the economic and environmental aspects of human activity. One of the stages of such technologies is processing of wood waste into fuel pellets, for the production of which appropriate lines are used. They include a large number of different machines. The article presents the results of studies of the working process of SB-2 dryer produced by Doza-Agro LLC, which is a part of these lines. The paper presents its scheme and describes the principle of operation, evaluates the efficiency of the dryer working process depending on the feedstock parameters. Work process of the drying drum was carried out in the conditions of IP Kabanov, IP Bratchikov, Penza-Pellet LLC, Togliattinsky Pellet Plant LLC, Promlesilim LLC, Maslyaninsky LLC, Ekolesprom LLC, Bryansk Broiler LLC, Tandem VP LLC. The influence of feedstock moisture content, temperature of the feedstock and the particle size has been determined. The particle size was estimated by their surface area. The efficiency of the dryer was evaluated by its productivity, expressed as a percentage of the maximum possible one and obtained under optimal conditions. After processing statistical information, a second-order regression model has been obtained, which characterizes the drying process of crushed material the SB-2 dryer. It was revealed that feedstock moisture content has

the greatest influence on the working process of SB-2 dryer. The drying process of crushed wood material differs from the drying process of chips. Namely, the temperature of the dryer has the smallest effect on the performance when drying the crushed material. When drying the shavings, their size has the smallest effect.

Keywords: wood waste, pellets, dryer performance, shavings, drying.

Введение

РФ занимает ведущее место по запасам лесных ресурсов. Преимуществом древесины как источника энергии, отличающим ее от ископаемых энергоресурсов, является возобновляемость. Кроме того, наличие регионов, отдаленных от мест добычи ископаемого топлива, приводит к значительным затратам на его доставку потребителям, что обосновывает актуальность древесного топлива как источника энергии. Несмотря на то что вопросы биоэнергии, по мнению С. Gamborg, К. Millar, О. Shortall, Р. Sandoe, вызывают вопросы этики, отходы лесопромышленного комплекса являются одним из наиболее дешевых энергоресурсов [15]. Отходы образуются как на этапе лесозаготовки, так и при переработке древесины [14]. К отходам лесозаготовки относятся ветви и вершины деревьев, древесная зелень, щепа, кора и пни, при лесопереработке в качестве отходов образуются опилки, щепа, стружка, горбыли. К.К. Gokmenoglu, G.O. Olasehinde-Williams, N. Taspinar в своих исследованиях показали, что проблемы экологического характера достаточно эффективно решаются государствами путем введения различных субсидий, снижения налоговой нагрузки организациям, которые занимаются облесением и лесонасаждением [16]. Объем отходов только при лесозаготовке составляет до 39 %, что делает перспективной разработку современных технологий по производству топлива из отходов лесопромышленного комплекса [7, 8].

Тепловой эффект сгорания древесного топлива имеет высокие значения и несколько различается в зависимости от породы дерева, региона произрастания и части дерева. В среднем теплотворная способность лиственных пород ниже, чем у хвойных, что объясняется меньшим содержанием лигнина и смолистых веществ. При этом высокой теплотой сгорания обладает как древесная часть, так и кора [8].

При отсутствии переработки большой объем древесных отходов, вывозимый на свалки и отвалы, создает неблагоприятную экологическую обстановку, а также повышенную пожароопасность, т.к. в процессе гниения древесины происходит выделение легковоспламеняемых органических соединений и выделение большого количества теплоты. Об экологичности использования древесных отходов в качестве топлива также свидетельствует более низкое количество парниковых газов, образующихся при их сжигании, по сравнению с использованием в качестве топлива каменного угля или мазута. Кроме того, объемы углекислого газа, образующегося при сжигании и естественном окислении древесной массы при гниении, не отличаются [2, 9].

Использование древесных отходов в качестве топлива может осуществляться разными способами: прямое сжигание коры, кусковых отходов, щепы и стружки, производство прессованного древесного топлива (пеллеты, брикеты), термохимическое производство газообразного и жидкого топлива [11].

Прямое сжигание древесных отходов имеет ряд недостатков. Чтобы сжигание было эффективным, необходимо приведение древесного материала к достаточно равномерному гранулометрическому составу, обеспечивающему равномерный его контакт с воздухом. Необработанные древесные отходы могут содержать в себе достаточно большое количество влаги, что снижает их теплотворную способность. Транспортировка древесных отходов является дорогостоящей, поэтому их прямое сжигание целесообразно только для обеспечения работы лесоперерабатывающего комплекса или на малоотдаленном от него предприятии [9].

В основе производства топливных брикетов и гранул лежит прессование предварительно измельченного сырья при нагревании. Компонентом, склеивающим частицы измельченных древесных отходов, является лигнин, содержащийся в древе-

сине. Прессованное топливо имеет равномерный гранулометрический состав, низкое содержание влаги, что обеспечивает высокую теплотворность. Производство прессованного топлива позволяет снизить затраты на транспортировку и хранение по сравнению с необработанными древесными отходами. Технологическая схема производства пеллет содержит следующие структурные элементы: первичная обработка древесины, кондиционирование, прессование, охлаждение и просеивание. Первичная обработка включает предварительное измельчение древесных отходов, сушку и доизмельчение до необходимого размера [7, 9]. Основной статьей энергозатрат при производстве пеллет являются затраты на сушку. Оптимальное содержание влаги в подготовленном сырье должно составлять 6-12 %. Большое содержание влаги может способствовать поражению древесных гранул грибом и гниению. Кроме того, при увеличении влажности уменьшается плотность пеллет, а испарение излишней влаги при хранении способствует появлению микротрещин и, как следствие, крошимости гранул [1, 9]. Сушка древесного материала заключается в испарении свободной и связанной влаги с поверхности и из объема материала. При этом энергозатраты на процесс сушки напрямую зависят от ее продолжительности и расхода теплоносителя. В работе [4] показано, что для древесных опилок увеличение расхода теплоносителя не приводит к сокращению времени сушки, а следовательно, является нерациональным. Целесообразна разработка конструкций сушильных установок с рециркуляцией сушильного агента, что позволит повысить их экономическую эффективность за счет снижения тепловых потерь и уменьшения количества сжигаемого топлива. В работах [1, 12] показана целесообразность применения нестационарного режима сушки с промежуточным нагревом и охлаждением. Однако данный вопрос является недостаточно изученным, т.к. не существует достоверной модели неизо-термического тепломассообмена в древесине, относящейся к капиллярно-пористым телам. При этом следует отметить, что градиент температуры может оказать как ускоряющий, так и тормозящий эффект на влагоудаление, следовательно, необходимо особое внимание уделять разработке режима сушки [3].

Для реализации процесса сушки древесного материала разработано большое количество сушилок различной конструкции. В силу высокой стоимости и сложности конструкций радиометрические, кондуктивные, диэлектрические и вакуумные сушильные установки не получили широкого распространения. Для сушки могут быть использованы камерные и ленточные сушильные установки, сушки в кипящем слое, сушильные установки вихревого типа. Широкое распространение получили барабанные сушилки. Одной из причин повышенных энергозатрат барабанной сушилки является неэффективный теплообмен между теплоносителем и материалом, причиной которого может служить неравномерное распределение сыпучего материала по сечению барабана и наличие зоны, не закрытой завесой падающего материала, и, как следствие, снижение количества теплоносителя, проходящего через осушаемый материал. Для устранения данного недостатка необходимо усовершенствование конструкции внутреннего устройства барабанной сушилки (лопаток) [10, 13]. На основании существующих барабанных сушилок с учетом недостатков в их конструкции ООО «Доза-Агро» разработан трехпроходный сушильный барабан СБ-2. Главным оценочным критерием рабочего процесса разработанного сушильного барабана является его производительность, которая во многом определяется параметрами высушиваемого материала. Поэтому целью работы является выявление зависимости производительности трехпроходного сушильного барабана СБ-2 для сушки древесных отходов от параметров исходного сырья.

Материалы и методы

Нами проведено исследование по определению зависимости производительности трехпроходного сушильного барабана СБ-2 от параметров исходного сырья. Сушильный барабан СБ-2 входит в состав линий приготовления пеллет серий ТП-П, ТП-С и ЛС производства ООО «Доза-Агро» [6], состоит из установленного на раме 12 барабана 5, внутри которого смонтированы лопатки 6, предназначенные для перемещения и ворошения материала. Вращение барабана осуществляется с помощью приводного механизма 17 через приводную опору 14. Рабочий процесс осуществляется следующим

образом. Материал, предназначенный для сушки, подается в загрузочное устройство, где контактирует с распределительными пластинами 1 и предварительно нагревается. Далее движение вдоль оси барабана и одновременная сушка материала происходит под действием горячего воздушного потока (агента сушки), создаваемого установленным после барабана вентилятором и нагреваемого в топочном блоке. Для интенсификации процесса сушки осуществляется перемешивание материала с горячим воздухом, которое происходит за счет перемещения материала по периферии барабана 5 под действием лопаток 6.

Исследование рабочего процесса сушильного барабана проводилось в условиях хозяйств ИП Кабанов, ИП Братчиков, ООО «Пенза-Пеллет», ООО «Тольяттинский пеллетный завод», ООО «Промлесилим», ООО «Маслянинский ЛПХ», ООО «Эколеспром», ООО «Брянский бройлер», ООО «Тандем ВП».

Определялось влияние влажности исходного сырья (изменялась от 30 до 50 % с шагом 10 %), температуры исходного сырья (изменялась от -10 до +20 °С с шагом 15 °С) и размера частиц исходного сырья. Размер частиц оценивался площадью их поверхности. За минимальное значение принимался опил размером 1×1×1 мм (площадь поверхности 6 мм²), за среднее значение – дробленая щепа размером 10×5×2 мм (площадь поверхности 160 мм²), за максимальное – щепа размером 10×10×3 мм (площадь поверхности 320 мм²). Эффективность работы сушилки оценивали ее производительностью, выраженной в процентном соотношении от максимально возможной и полученной при оптимальных условиях (табл. 1).

Отдельно необходимо выделить процесс сушки стружки. Образование стружки происходит нарезанием, а не дроблением, а ее толщина значительно меньше толщины щепы. Поэтому дополнительно проведено исследование по определению производительности сушилки при сушке стружки.

В качестве исходных данных также выступали влажность исходного сырья (изменялась от 30 до 50 % с шагом 10 %), температура исходного сырья (изменялась от -10 до +20 °С с шагом 15 °С) и размер частиц исходного сырья. Размер частиц из-

менялся на двух уровнях и оценивался площадью поверхности частицы. За минимальное значение принималась стружка с размерами 15×5×0,5 мм (площадь поверхности 37,5 мм²), за максимальное – стружка с размерами 25×25×0,5 мм (площадь поверхности 312,5 мм²). Рабочий процесс сушилки также оценивали ее производительностью, выраженной в процентном соотношении от максимально возможной и полученной при оптимальных условиях (табл. 2).

Обработка статистической информации и построение моделей регрессий, характеризующих влияние исследуемых факторов на производительность сушилки, проводилась методами планирования [5].

Результаты

После обработки статистической информации по табл. 1 получена модель регрессии второго порядка (при 95 %-й доверительной вероятности), характеризующая процесс сушки дробленого материала в сушилке СБ-2:

$$y=31,7-20 \cdot x_1+5 \cdot x_2-14 \cdot x_3+10,4 \cdot x_1^2-2,4 \cdot x_1 \cdot x_2+3,8 \cdot x_1 \cdot x_3-2,7 \cdot x_2^2-2,3 \cdot x_2 \cdot x_3+4,9 \cdot x_3^2. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации уравнения (1) составляет 97,9 %, что свидетельствует об адекватности модели и возможности ее использования при расчетах.

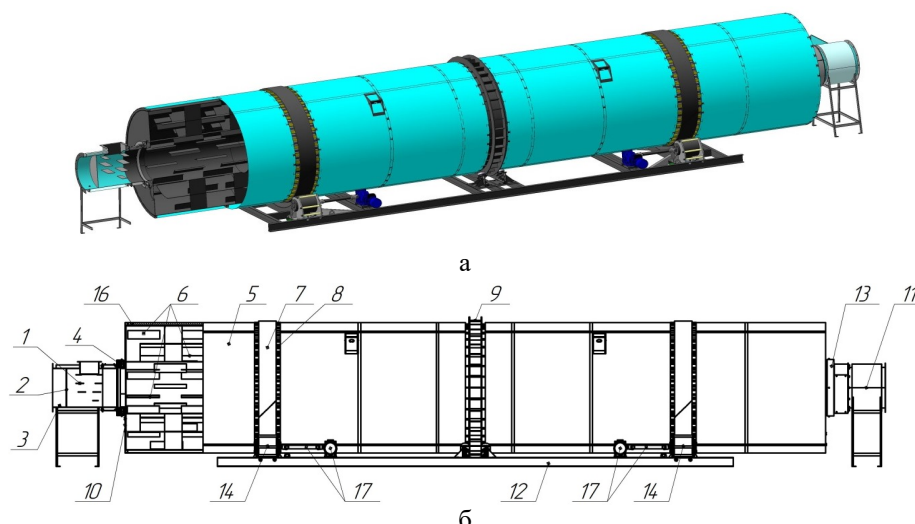


Рис. 1. Сушильный барабан СБ-2: а – трехмерная модель; б – схема; 1 – распределительные пластины загрузочного устройства; 2 – аварийный отсекающий топочных газов; 3 – датчик температуры на входе; 4 – плавающий соединитель; 5 – трехконтурный барабан; 6 – лопатки барабана; 7 – съемный бандаж; 8 – опорные пластины; 9 – упорная реборда; 10 – взрыворазрядительный клапан; 11 – датчик температуры на выходе; 12 – рама опорная; 13 – плавающий соединитель; 14 – опора приводная; 15 – опора пассивная; 16 – теплоизоляция барабана; 17 – приводной механизм

Таблица 1

Влияние исследуемых параметров на производительность сушилки при сушке дробленого сырья

Номер опыта	Исследуемые факторы						Критерий оценки работы машины
	Влажность исходного сырья		Температура исходного сырья		Площадь поверхности частицы сырья		
	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	Производительность сушилки Q_c , в % от максимальной
	W, %	x_1	T, °C	x_2	$S_{п}$, мм ²	x_3	
1	40	0	5	0	160	0	31,7
2	30	-1	-10	-1	160	0	49,4
3	50	+1	-10	-1	160	0	18,8
4	30	0	20	+1	160	0	65
5	50	+1	20	+1	160	0	24,7
6	30	-1	5	0	6	-1	84
7	50	+1	5	0	6	-1	31,9
8	40	0	5	0	160	0	31,7
9	30	-1	5	0	320	+1	54,6
10	50	+1	5	0	320	+1	17,6
11	40	0	-10	-1	6	-1	44,1
12	40	0	20	+1	6	-1	58
13	40	0	-10	-1	320	+1	14,5
14	40	0	20	+1	320	+1	19,1
15	40	0	5	0	160	0	31,7

Влияние исследуемых параметров на производительность сушилки при сушке древесной стружки

Номер опыта	Исследуемые факторы						Критерий оценки работы машины
	Влажность исходного сырья		Температура исходного сырья		Площадь поверхности частицы сырья,		Загруженность машины
	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	ненормированное значение	нормированное значение	Производительность сушилки Q_c , в % от максимальной
	W, %	x_1	T, °C	x_2	$S_{п}$, мм ²	x_3	
1	30	-1,0	-10	-1,0	37,5	-1,0	64,6
2	40	0,0	-10	-1,0	37,5	-1,0	37,5
3	50	1,0	-10	-1,0	37,5	-1,0	21,7
4	30	-1,0	5	0,0	37,5	-1,0	71,4
5	40	0,0	5	0,0	37,5	-1,0	41,4
6	50	1,0	5	0,0	37,5	-1,0	27,1
7	30	-1,0	20	1,0	37,5	-1,0	85
8	40	0,0	20	1,0	37,5	-1,0	49,3
9	50	1,0	20	1,0	37,5	-1,0	32,3
10	30	-1,0	-10	-1,0	312,5	1,0	57
11	40	0,0	-10	-1,0	312,5	1,0	33,1
12	50	1,0	-10	-1,0	312,5	1,0	20,2
13	30	-1,0	5	0,0	312,5	1,0	63
14	40	0,0	5	0,0	312,5	1,0	36,5
15	50	1,0	5	0,0	312,5	1,0	23,9
16	30	-1,0	20	1,0	312,5	1,0	75
17	40	0,0	20	1,0	312,5	1,0	43,5
18	50	1,0	20	1,0	312,5	1,0	28,5

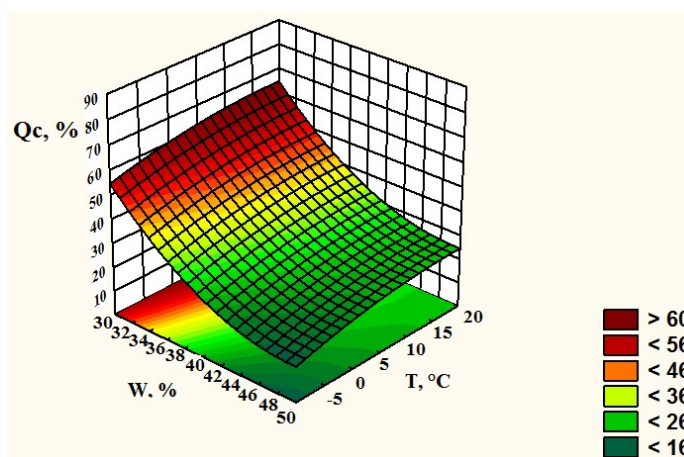


Рис. 2. Влияние на производительность сушилки СБ-2 влажности и температуры исходного сырья при $S_{п} = 175 \text{ мм}^2$

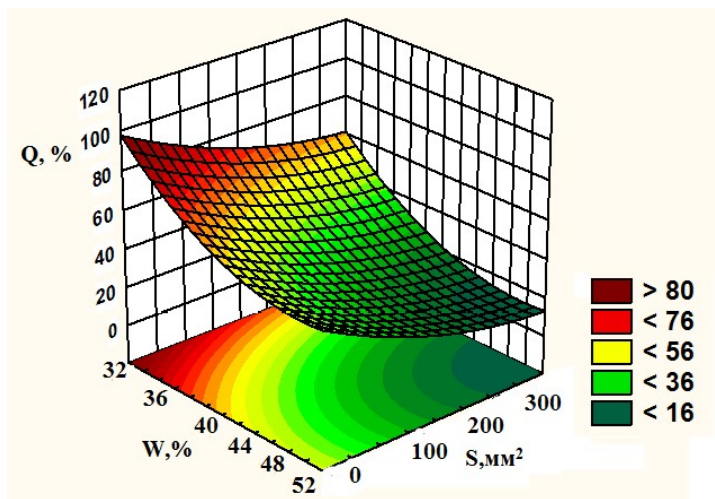


Рис. 3. Влияние на производительность сушилки влажности и размеров частиц исходного сырья при $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

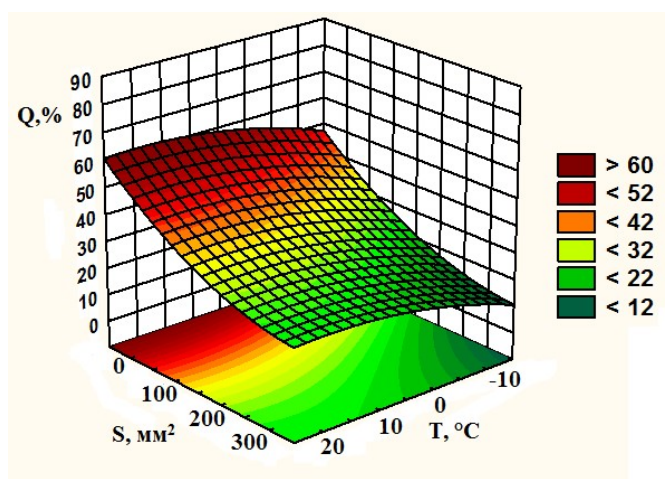


Рис. 4. Влияние на производительность сушилки температуры и размеров частиц исходного сырья при $W = 40 \text{ } \%$

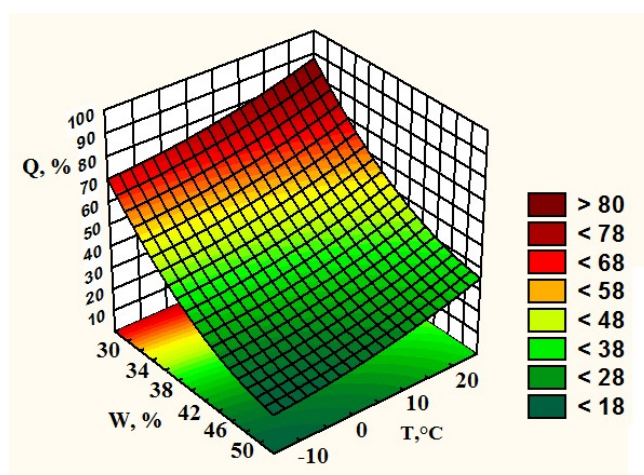


Рис. 5. Влияние на производительность сушилки влажности и температуры исходного сырья при $S_n = 175 \text{ mm}^2$

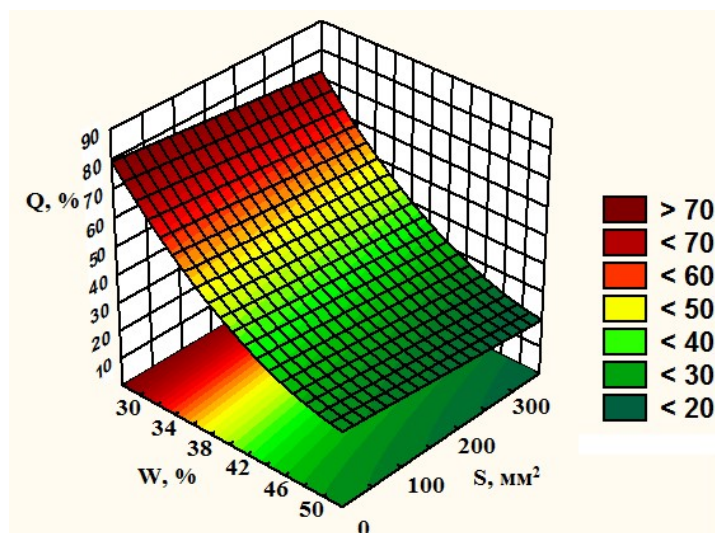


Рис. 6. Влияние на производительность сушилки влажности и размеров частиц исходного сырья при $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

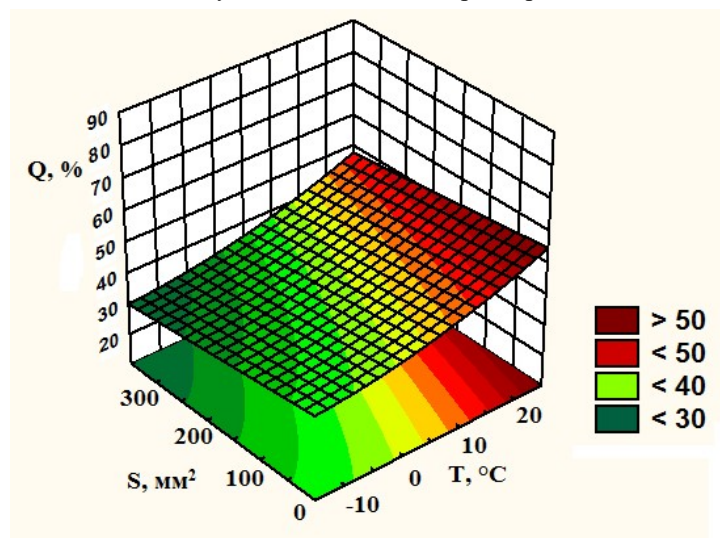


Рис. 7. Влияние на производительность сушилки температуры и размеров частиц исходного сырья при $W = 40 \text{ } \%$

Наибольшее влияние на производительность сушилки оказывает фактор x_1 ($b_1 = -20$), в меньшей степени – x_3 ($b_3 = -14$). Менее значимым из исследуемых факторов является фактор x_2 – температура исходного сырья. С целью повышения производительности сушилки необходимо стремиться снижать влажность и размеры частиц исходного сырья, а также проводить сушку при более высокой его температуре.

Для наглядности протекающего процесса приведены поверхности регрессии (рис. 2-4). При снижении влажности с 50 до 30 % производительность сушилки возрастает в 2,6-3,7 раза в зависимости от температуры исходного сырья (рис. 2).

За счет уменьшения размеров частиц исходного сырья можно увеличить производительность сушилки на 70 %, независимо от исходной влажности материала (рис. 3).

Максимальная производительность сушилки наблюдается при сушке опила размером $1 \times 1 \times 1$ мм, с минимальной влажностью и максимальным значением его температуры. Наибольшее время сушки (а значит, минимальная производительность сушилки) приходится на переработку щепы размером $30 \times 30 \times 5$ мм, влажностью 55 % и температурой $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Модель регрессии, описывающая процесс сушки древесной стружки, имеет вид (при 95 %-й доверительной вероятности):

$$y = 39 - 21,9 \cdot x_1 + 6,6 \cdot x_2 - 2,8 \cdot x_3 + 7,3 \cdot x_1^2 - 2,4 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,5 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,8 \cdot x_2^2 - 0,5 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации уравнения (2) составляет 99,6 %, т. е. модель может быть признана адекватной модели. В наибольшей степени критерий оценки работы сушилки зависит от фактора x_1 ($b_1 = -21,9$): незначительное увеличение влажности исходного сырья ведет к резкому снижению производительности сушилки. В меньшей степени на критерий оптимизации влияет температура исходного сырья x_2 ($b_2 = +6,6$). С увеличением фактора x_2 происходит рост производительности сушилки. Фактор x_3 (размер стружки) в данном случае оказывает наименьшее влияние на производительность сушилки ($b_3 = -2,8$). Повысить критерий y возможно за счет уменьшения размеров стружки.

На основании модели регрессии построены поверхности (рис. 5, 6 и 7).

Со снижением влажности исходного сырья с 50 до 30 % наблюдается рост производительности сушилки в 2,8–4,7 раза в зависимости от его температуры (рис. 5).

В зависимости от размеров стружки при снижении ее влажности в исследуемом диапазоне при фиксированном значении температуры также наблюдается рост производительности в 3,2–3,6 раза (рис. 6).

При фиксированной влажности за счет повышения температуры исходного сырья с -10 до $+20$ °С можно увеличить производительность сушилки с 30 до 52 % в зависимости от размеров стружки (рис. 7).

Для получения максимального эффекта необходимо стремиться проводить сушку стружки

минимального размера с ее наименьшей влажностью и максимальной температурой.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на рабочий процесс сушилки СБ-2 оказывает влажность исходного сырья – при ее увеличении с 30 до 50 % в зависимости от вида сырья производительность сушилки падает в 2,6–4,7 раза.

2. Процесс сушки дробленого древесного материала отличается от процесса сушки стружки, а именно наименьшее значение на производительность сушилки при сушке дробленого материала оказывает его температура, а при сушке стружки – ее размеры.

3. Независимо от вида предварительной обработки исходного сырья максимально возможная производительность сушилки наблюдается при сушке материала минимальных размеров с минимальной влажностью и максимальной температурой.

4. Максимальная производительность сушилки, равная 100 %, достигается при сушке опила размером $1 \times 1 \times 1$ мм влажностью 30 % и температурой $+20$ °С.

5. При сушке стружки размером $15 \times 5 \times 0,5$ мм влажностью 30 % и температурой $+20$ °С производительность сушилки составляет 85 % от максимально возможной, при сушке стружки размером $25 \times 25 \times 0,5$ мм – 75 %, щепы размером $10 \times 5 \times 2$ мм – 65 %, щепы размером $10 \times 10 \times 3$ мм – 55 %.

Библиографический список

1. Ахмедьянова, Е. Н. Увеличение энергоэффективности установок сушки пеллет / Е. Н. Ахмедьянова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 1-2. – С. 352–355.
2. Вакалюк, Ю. В. Использование биотоплива на основе древесного сырья взамен каменного угля и мазута / Ю. В. Вакалюк, И. И. Подольский // Экология и промышленность России. – 2011. – № 10. – С. 24–27.
3. Анализ процессов сушки древесины существенно неизотермическими режимами / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина, Е. В. Старова, А. А. Миков // Лесной журнал. – 2018. – № 2. – С. 88–96.

4. Кодылев, А. В. Кинетика конвективной сушки сыпучих и дисперсных строительных материалов в сушильной установке с рекуперацией теплоносителя / А. В. Кодылев, А. Н. Лозинов, Р. А. Садыков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4 (38). – С. 308–314.
5. Коновалов, В. В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ : учеб. пособие / В. В. Коновалов ; ПГСХА. – Пенза, 2003. – 176 с.
6. Линии по производству топливных гранул и брикетов. – URL: <https://www.dozagran.com/lines/> (дата обращения: 01.10.2019).
7. Пономарева, Н. Г. Совершенствование технологии производства топливных гранул из древесной коры : специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» : автореф. дис. ... канд. тех. наук / Пономарева Наталья Геннадьевна; ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». – Архангельск, 2017. – 20 с.
8. Степанов, В. И. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве / В. И. Степанов, Н. А. Мезина // Вестник Российского Экономического Университета им. Г.В. Плеханова. – 2012. – № 3 (45). – С. 83–88.
9. Севастьянова, С. Н. Биоэнергетика. Древесные (топливные) гранулы / С. Н. Севастьянова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 10 (104). – С. 133–138.
10. Субботин, М. Ю. Обоснование конструктивных параметров барабанных сушилок физико-механическими свойствами сыпучих материалов / М. Ю. Субботин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 218–223.
11. Суханов, В. С. Роль биоэнергетики в повышении эффективности лесопромышленного комплекса / В. С. Суханов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2010. – № 1. – С. 2–5.
12. Федоренко, И. Я. Повышение эффективности работы барабанных сушилок / И. Я. Федоренко, В. И. Лобанов, А. В. Синогейкин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 12 (38). – С. 46–48.
13. Храмов, А. Н. Повышение эффективности сушки сыпучих материалов за счет интенсификации конвективного теплообмена / А. Н. Храмов, М. Ю. Субботин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 6 (89). – С. 161–165.
14. Carle, J. Wood from planted forests: a global outlook 2005–2030 / J. Carle, P. Holmgren // Forest Products Journal. – 2008. – No. 58 (12). – P. 6–18.
15. Bioenergy and Land Use: Framing the Ethical Debate / C. Gamborg, K. Millar, O. Shortall, P. Sandoe // Journal of Agricultural and Environmental Ethics. – 2012. – Vol. 25. – Issue 6. – P. 909–925.
16. Gokmenoglu, K. K. Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Deforestation / K. K. Gokmenoglu, G. O. Olasehinde-Williams, N. Taspinar // Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. Green Energy and Technology ; M. Shahbaz, D. Balsalobre (eds). – Springer – Cham., 2019. – P. 61–83.

References

1. Ahmed'yanova E.N. (2014) *Uvelichenie energoeffektivnosti ustanovok sushki pellet* [Increasing the energy efficiency of pellet drying plants]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], Vol. 16, no. 1-2, pp. 352-355 (in Russian).
2. Vakalyuk Yu.V., Podolsky I.I. (2011) *Ispol'zovanie biotopliva na osnove drevesnogo syr'ya vzamen kamennogo uglya i mazuta* [The use of biofuels based on wood raw materials instead of coal and fuel oil]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], no 10, pp. 24-27 (in Russian).
3. Gorohovskij A.G., Shishkina E.E., Starova E.V., Mikov A.A. (2018) *Analiz processov sushki drevesiny sushchestvenno neizotermicheskimi rezhimami* [Analysis of wood drying processes with non-isothermal regimes]. *Lesnoj zhurnal* [Forest journal], no 2, pp. 88-96 (in Russian).
4. Kodylev A.V., Lozinov A.N., Sadykov R.A. (2016) *Kinetika konvektivnoj sushki sypruchih i dispersnykh stroitel'nykh materialov v sushil'noj ustanovke s rekuperaciej teplonositelya* [Kinetics of convective drying of bulk and

dispersed building materials in a drying plant with heat recovery]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of Kazan state University of architecture and construction], no. 4 (38), pp. 308-314 (in Russian).

5. Konovalov V.V. *Praktikum po obrabotke rezul'tatov nauchnykh issledovaniy s pomoshch'yu PEVM : uchebnoe posobie* [Workshop on processing the results of scientific research with the help of PC: tutorial]. Penza, 2003. 176 p. (in Russian).

6. *Linii po proizvodstvu toplivnykh granul i briкетов* [Production lines for fuel pellets and briquettes]. URL: <https://www.dozagan.com/lines> (date of access: 01.10.2019) (in Russian).

7. Ponomareva N.G. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva toplivnykh granul iz drevesnoj kory : avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk* [Improvement of production technology of fuel pellets from wood bark: PhD (Engineering) thesis abstr.]. Arhangel'sk, 2017, 20 p. (in Russian).

8. Stepanov V.I., Mezin N.A. (2012) *Otkhody lesnoy promyshlennosti i ikh ispol'zovanie v natsional'nom khozyaystve* [Waste of forest industry and their use in the national economy]. *Vestnik Rossiyskogo Ekonomicheskogo Universiteta im. G.V. Plekhanova* [Bulletin of The Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov], no. 3 (45), pp. 83-88 (in Russian).

9. Sevast'yanova S.N. (2009) *Bioenergetika. Drevesnye (toplivnye) granuly* [Bioenergetics. Wood (fuel) pellets]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], no. 10 (104), pp. 133-138 (in Russian).

10. Subbotin M.Yu. (2014) *Obosnovanie konstruktivnykh parametrov barabannykh sushilok fiziko-mekhanicheskimi svoystvami sypuchikh materialov* [Substantiation of design parameters of drum dryers by physical and mechanical properties of bulk materials]. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)* [Mining information and analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. 12, pp. 218-223 (in Russian).

11. Sukhanov V.S. (2010) *Rol' bioenergetiki v povyshenii effektivnosti lesopromyshlennogo kompleksa* [The role of bioenergy in increasing the efficiency of the timber industry]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], no. 1, pp. 2-5 (in Russian).

12. Fedorenko I.Ya., Lobanov V.I., Sinogejkin A.V. (2007) *Povyshenie effektivnosti raboty barabannykh sushilok* [Improving the efficiency of drum dryers]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], no. 12 (38), pp. 46-48 (in Russian).

13. Hramov A.N., Subbotin M.Yu. (2014) *Povyshenie effektivnosti sushki sypuchih materialov za schet intensivifikatsii konvektivnogo teploobmena* [Increase of drying efficiency of bulk materials due to intensification of convective heat exchange]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], no. 6 (89), pp. 161-165 (in Russian).

14. Carle J. Holmgren P. (2008) Wood from planted forests: a global outlook 2005–2030. *Forest Products Journal*; 58(12): 6-18.

15. Gamburg C., Millar K., Shortall O., Sandoe P. (2012) Bioenergy and Land Use: Framing the Ethical Debate. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Vol. 25, Iss. 6, pp. 909-925.

16. Gokmenoglu K.K., Olasehinde-Williams G.O., Taspinar N. (2019) Testing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis: The Role of Deforestation. In: Shahbaz M., Balsalobre D. (eds) *Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization*. Green Energy and Technology. Springer. Cham., pp 61-83.

Сведения об авторе

Сергеев Александр Георгиевич – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: office@ukdoza.com.

Information about the author

Sergeev Aleksandr Georgievich – PhD (Engineering), CEO of Doza-agro LLC, Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: office@ukdoza.com.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СПОСОБА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ДЕКОРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НИЗКОТОВАРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Н.А. Тарбеева

кандидат технических наук, доцент **О.А. Рублева**

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация

Для производства отделочных материалов традиционно используется твердолиственная древесина. Ее высокая стоимость, обусловленная дефицитностью, – ключевой фактор, сдерживающий спрос на продукцию из массивной древесины. Замена твердолиственной древесины низкотоварным сырьем способствует снижению стоимости продукции. Благодаря технологиям модифицирования низколиквидной древесины на основе прессования и термической обработки существует возможность улучшения ее природных свойств и расширения областей использования. В работе рассматривается многоступенчатый способ упрочняющей декоративной обработки заготовок из древесины на основе операций обжига, браширования, прессования и термической обработки. Внедрение способа в промышленность сдерживается отсутствием научно обоснованных рекомендаций по его применению. Целью работы является исследование возможности применения данного способа для изготовления отделочных материалов и деталей облицовки. Систематизация информации о комбинированных многоступенчатых способах обработки деревянных заготовок позволила выявить их значительный промышленный потенциал. Дифференциальным методом квалиметрии и обоснована целесообразность совокупности четырех технологических операций: обжига, браширования, прессования и термической обработки. Многоступенчатая обработка способствует комплексному повышению эстетических, физико-механических и защитных свойств заготовок. Оптимальная последовательность операций, входящих в способ, определена благодаря сравнительному анализу. На основе способа изготовлен опытный образец облицовочной плитки. Результаты оценки эксплуатационных свойств и технологий изготовления данной облицовочной плитки в сравнении с аналогами подтвердили возможность применения способа упрочняющей декоративной обработки для изготовления отделочных материалов.

Ключевые слова: многоступенчатая обработка, прессование древесины, браширование, обжиг, термическая обработка, отделочные материалы

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES OF THE METHOD FOR STRENGTHENING DECORATIVE PROCESSING OF LOW-VALUABLE WOOD

N.A. Tarbeevea

PhD (Engineering), Associate Professor **O.A. Rubleva**

FSBEI HE "Vyatka State University", Kirov, Russian Federation

Abstract

Hardwood is traditionally used for the production of finishing materials. Its high cost due to scarcity is a key factor holding back demand for solid wood products. Replacing hardwood with low-value and low-liquid raw materials helps to reduce the cost of production. Thanks to the technologies of modifying low-value wood based on pressing and heat treatment, it is possible to improve its natural properties and expand the areas of use. The paper discusses a multi-stage method of strengthening decorative processing of blanks from low-value wood based on firing, brushing, pressing and heat treatment. The introduction of the method into industry is constrained by the lack of scientifically grounded recommendations for its application. The purpose of the work is to study the possibility of using this method for the

manufacture of finishing materials and facing parts. Systematization of information on combined multistage methods of processing wooden blanks has made it possible to identify their significant industrial potential. The differential method of qualimetry substantiates the expediency of a combination of four technological operations: firing, brushing, pressing and heat treatment. Multi-stage processing contributes to a comprehensive increase in aesthetic, physical-mechanical and protective properties of the blanks. The optimal sequence of operations included in the method has been determined through comparative analysis. A prototype of the facing tile was made based on the method. The results of evaluating the operational properties and manufacturing technologies of this facing tile (in comparison with analogues) have confirmed the possibility of using the method of strengthening decorative processing for the manufacture of finishing materials.

Keywords: multistage processing, wood pressing, brushing, firing, heat treatment, finishing materials

Введение

Разнообразие дизайна современных интерьеров, характеризующихся простотой форм, достигается за счет применения различных видов отделки. Среди широкого ассортимента отделочных материалов и покрытий, представленных на рынке, наиболее востребованы и традиционные материалы из древесины [8]. Их используют для облицовывания потолков, стен и перегородок, полов, лестниц, оконных и дверных проемов, различных архитектурных элементов. Сырьем для их изготовления служит высококачественная твердолиственная древесина, обладающая высокими физико-механическими и декоративными свойствами [5]. Высокая стоимость твердолиственной древесины, обусловленная дефицитностью сырья, является негативным фактором, сдерживающим спрос на отделочные материалы и покрытия из массивной древесины.

С целью снижения стоимости продукции твердолиственную древесину заменяют малоценным и низколиквидным сырьем. Но его невысокие физико-механические и художественно-декоративные свойства накладывают ограничения на использование. Измельчение и изготовление композиционных материалов – одно из основных направлений переработки низколиквидной древесины [15]. Технологии модифицирования древесины позволяют повышать свойства низкокачественного сырья и способствуют расширению областей его использования без измельчения. Прессование и термическая обработка древесины – наиболее перспективные направления улучшения физико-механических свойств [9-11]. Прессование позволяет повышать твердость, износостойкость, гигроскопичность и формоустойчивость древесины. Термическая обра-

ботка направлена на увеличение био- и атмосферостойкости древесины.

Облагораживание внешнего вида малоценной, в том числе низкотоварной древесины, как и модифицирование, способствует ее более широкому использованию. Для имитации текстуры ценных пород применяют браширование, в том числе браширование с обжигом [6].

Виды технологий, в которых операции обжига, браширования, прессования и термической обработки заготовок из древесины применяются независимо друг от друга, а также в некоторых сочетаниях (браширование с обжигом, пьезотермическая обработка), получили широкую практическую применимость: технология Yakisugi, Termowood, состаривание древесины, горячее тиснение и др. [4, 14].

Комбинирование способов модифицирования и облагораживания древесины в едином технологическом процессе может помочь в решении вопроса замены твердолиственной древесины низкотоварным, низколиквидным сырьем для изготовления продукции с уникальными свойствами.

Авторами предложен многоступенчатый способ упрочняющей декоративной обработки, защищенный патентом РФ [7]. Суть способа заключается в объединении в единый технологический процесс операций обжига, браширования, прессования и термической обработки заготовок из древесины.

Заготовки из древесины хвойных пород обжигают огнем паяльной лампы или газовой горелки до образования равномерно обугленной растрескавшейся поверхности. После чего сгоревшие и менее плотные слои ранней древесины удаляют

химико-механическим способом до образования контрастной рельефной поверхности. Далее холодным прессованием заготовки уплотняют, выравнивают полученный рельеф, обеспечивая тем самым повышение твердости и гигиеничности. На заключительном этапе упрочненные заготовки подвергают термической обработке, повышая тем самым их устойчивость к негативному воздействию окружающей среды.

Для внедрения данного способа в промышленность необходимо установить его целесообразность и практическую применимость. В связи с этим целью исследования является обоснование возможности применения многоступенчатого способа обработки заготовок из низкотоварной древесины для изготовления отделочных материалов и деталей облицовки.

Задачи исследования:

1) анализ и систематизация научно-технической информации по способам (технологическим процессам) обработки деревянных заготовок на основе операций обжига, браширования, прессования и термической обработки;

2) квалиметрическая оценка техпроцессов с целью установления целесообразности совокупности технологических операций;

3) сравнительный анализ вариантов последовательности операций многоступенчатой обработки;

4) сравнительный анализ преимуществ и недостатков отделочных покрытий, технологий их изготовления для оценки уровня качества разрабатываемой облицовочной плитки.

Материалы и методы

1. Анализ технологий проводили на основе исходных данных, взятых из нормативно-технической документации, публикаций и научных трудов, патентов, а также практических рекомендаций предыдущих исследователей касательно вопросов обработки древесины обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой [4–6, 9, 10, 11–14].

Систематизацию возможных вариантов технологических процессов выполняли по принципу наличия или отсутствия указанных технологических операций в них.

2. Целесообразность этапов обработки устанавливали на основе дифференциального метода, являющегося одним из инструментов квалиметрической оценки [1]. Для этого сравнивали свойства заготовок, обработанных согласно техпроцессам, отобранным по результатам систематизации. В оценке учитывали показатели назначения, подобранные на основании стандартов ГОСТ 4.210-79, ГОСТ 4.207-79 [2, 3], такие как твердость декоративной поверхности, водопоглощение, эстетичность и гигиеничность.

Показатели твердости и водопоглощения определяли экспериментально на образцах из древесины сосны преимущественно тангенциального распила влажностью 7-20 %. Режимы обработки заготовок назначали на основании анализа практических рекомендаций по обжигу и брашированию и теоретических аспектов прессования и термообработки древесины [9, 10].

Эстетичность и гигиеничность оценивали экспертным методом.

Коэффициенты единичных показателей качества рассчитывали по формулам, представленным в работе [1]. За базовые показатели принимали показатели заготовок из древесины сосны после фрезерования.

3. Методом сравнительного анализа определяли оптимальную последовательность технологических операций способа. По показателю технологичности оценивали варианты последовательностей: № 1 (обжиг → браширование → прессование → термообработка) и № 2 (браширование → обжиг → прессование → термообработка). Дополнительно проводили оценку эстетичности внешнего вида образцов.

4. Методами сравнительного анализа и экспертной оценки эксплуатационных свойств и технологий изготовления отделочных материалов определяли возможность применения многоступенчатого способа для изготовления изделий внутренней отделки. Опытный образец облицовочной плитки сравнивали с аналогами – деревянной плиткой Tarsi, Flicht, Finex, плиткой из МДФ, доской облицовочной профильной. В качестве критериев для сравнения использовали показатели назначения, уровня исполнения, экономической эффективности.

Результаты и обсуждение

В результате анализа источников [4–6, 9, 10, 14] установлено, что варианты технологических процессов, включающие отдельно взятые операции обжига, браширования, прессования и термической обработки, нашли широкое применение в промышленности. Техпроцессы, основанные на объединении двух из указанных операций, используются значительно реже. Комбинирование большего числа операций в настоящее время не изучено и в промышленности не применяется. Благодаря систематизации возможных вариантов техпроцессов и их анализу получена информация о внедрении (воз-

можности внедрения) технологий в промышленность и сферах использования получаемого продукта (табл. 1). Для дальнейшей квалитетической оценки, проводимой с целью установления целесообразности совокупности операций обжига, браширования, прессования и термической обработки, выбраны технологические процессы № 1-7, 14-16, то есть техпроцессы, которые уже внедрены в промышленность, и техпроцессы, которые могут быть пригодны для изготовления высококачественных отделочных материалов из низкотоварной, низколиквидной древесины.

Таблица 1

Варианты технологических процессов

№ тех-процесса	Технологические операции (совокупность)	Внедрение в промышленность	Сфера использования продукта (возможная)	Примечание
1	–	+	Строительные и отделочные материалы, мебели, ТНП	–
2	О	+	Внешняя облицовка	Японская технология Yakisugi [11]
3	Б	+	Внутренняя облицовка, детали мебели и декора, ТНП	Состаривание древесины [7]
4	П	+	Детали машин, мебель, облицовка, конструкционные материалы, ТНП	Прессование и гнутье древесины [10]
5	Т	+	Строительные материалы, внешняя облицовка	Технология «Termowood» [17]
6	О-Б	+	Внутренняя облицовка, детали мебели и декора, ТНП	Состаривание древесины [18]
7	П-Т	+	Мебель, облицовка, декор, строительные, конструкционные материалы	Горячее тиснение [1]
8	О-П	–	Внешняя облицовка и несущие конструкции (не установлено)	Исследования отсутствуют
9	О-Т	–	Внешняя облицовка	Проведены поисковые эксперименты (собственные разработки)
10	Б-Т	–	Внутренняя облицовка (не установлено)	Исследования отсутствуют
11	Б-П	–	Не установлено	
12	Б-П-Т	–	Не установлено	
13	О-П-Т	–	Внешняя облицовка (не установлено)	
14	О-Б-Т	–	Внутренняя отделка (не установлено)	
15	О-Б-П	–	Внутренняя облицовка, детали мебели и декора, ТНП	Патент РФ № 2704849 [7]
16	О-Б-П-Т	–		Собственные исследования авторов, обоснование представлено в данной статье

Источник: собственные разработки

Оставшиеся варианты техпроцессов (№ 8-13) исключены из оценки по причине отсутствия очевидных преимуществ для изготовления изделий декора и деталей внутренней отделки.

Результаты квалиметрической оценки, проведенной дифференциальным методом, представлены в виде сравнительных диаграмм на рис. 1. В их число вошли значения итогового показателя качества, единичных показателей твердости, гигиеничности, эстетичности и водопоглощения. Наиболее высокий уровень качества, равный 1,96, отмечен у заготовок, обработанных обжигом (техпроцесс № 2, табл. 1, рис. 1). Обугленная поверхность заготовок обеспечивает прекрасные гидрофобные и защитные свойства, что необходимо для деталей и изделий, работающих в атмосферных условиях. Низкая гигиеничность поверхности препятствует использованию таких деталей и изделий для мебели и внутренней облицовки.

Низкий уровень качества, равный 0,77, установлен у заготовок, обработанных только брашированием (техпроцесс № 3, табл. 1, рис. 1). Это обусловлено сниженными показателями твердости, гигиеничности и водопоглощения рельефной неконтрастной поверхности. Комбинирование технологических операций в техпроцессе способствует повышению уровня качества заготовок, о чем свидетельствует увеличение итогового коэффициента качества (техпроцессы № 6, 7, 14-16, табл. 1, рис. 1).

Достаточно высокий коэффициент качества, равный 1,24, зафиксирован у заготовок после четырехступенчатой обработки, включающей обжиг, браширование, прессование и термическую обработку (техпроцесс № 16, табл. 1, рис. 1). Это свидетельствует о положительном влиянии упрочняющей декоративной обработки на физико-механические и эксплуатационные свойства заготовок из древесины. За счет обжига и браширования формируется контрастная рельефная поверхность, обеспечивающая повышенные эстетические свойства. Прессование и термообработка способствуют увеличению твердости и водостойкости заготовок. При выравнивании рельефа прессованием дополнительно отмечено повышение гигиеничности с мини-

мальным снижением эстетичности. Таким образом, формируется уникальный комплекс физико-механических и эксплуатационных свойств заготовок из низкотоварной древесины.

Несмотря на то что квалиметрическая оценка выполнена дифференциальным методом без учета коэффициентов весомости, ее результаты достаточно хорошо иллюстрируют целесообразность объединения операций обжига, браширования, прессования и термической обработки заготовок из древесины в единый техпроцесс.

Технологический процесс, основанный на многоступенчатом способе упрочняющей декоративной обработки, может осуществляться в двух последовательностях: № 1 (обжиг → браширование → прессование → термообработка), № 2 (браширование → обжиг → прессование → термообработка). Оба варианта обеспечивают достаточно схожий эффект – формирование упрочненной контрастной поверхности, соответствующей природной структуре древесины. Фактура декоративной поверхности заготовок после обработки представлена на рис. 2.

В случае, когда обжиг древесины является первой технологической операцией способа, полученная декоративная поверхность заготовок имеет более выраженную контрастность между слоями ранней и поздней древесины (рис. 2, а), что делает внешний вид заготовок после обработки более выразительным. Поверхность заготовок после обработки, где обжиг проводят после браширования (последовательность № 2), выглядит монохромно, но не менее благородно. С точки зрения технологичности вариант последовательности № 1 наиболее приемлем, так как является менее трудоемким и энергозатратным. При варианте последовательности № 2 после операции обжига необходима повторная обработка декоративной поверхности нейлоновой щеткой с целью удаления сгоревших волокон. Это приводит к введению в технологический процесс дополнительных операций браширования и транспортирования заготовок. Удельная себестоимость продукции при этом увеличивается на 7-10 %.



Рис. 1. Квалиметрическая оценка технологических процессов дифференциальным методом (собственные разработки)

Для установления возможности изготовления по данной технологии отделочных материалов проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков облицовочной плитки (рис. 3), изготовленной с применением способа упрочняющей декоративной обработки, и аналогичных видов продукции – доски облицовочной профильной, деревянной мозаики из массивной древесины Tarsi, Finex, Flitch и плитки из МДФ. Дополнительно оценивали преимущества и недостатки технологий их изготовления.

В качестве критериев для оценки продукта предложены следующие показатели: порода древесины, видимость текстуры, наличие рельефа, повышенная твердость, пожароопасность, экологичность, гигиеничность.

Технологии изготовления анализировали по критериям:

- необходимость специального оборудования, инструмента, оснастки;
- повышенная трудоемкость изготовления;
- возможность использования низкотоварной (низколиквидной) древесины;
- себестоимость изготовления изделий.



Рис. 2. Декоративная поверхность после многоступенчатой обработки: а – последовательность № 1, б – последовательность № 2 (собственные разработки)



Рис. 3. Опытный образец облицовочной плитки (собственные разработки)

Результаты анализа представлены в табл. 2 и 3. Цветом показана экспертная оценка эксплуатационных свойств продуктов и технологий их изготовления: зеленым отмечены явные преимущества, красным – недостатки; оранжевым – возможность вариации или нейтральная оценка.

Анализируя табл. 2, можно заключить, что разрабатываемая облицовочная плитка превосходит все наиболее близкие аналоги по каждому из рассмотренных показателей эксплуатационных свойств, кроме пожароопасности. Высокий класс пожароопасности КМ5 характерен для большинства видов продукции из древесины, в том числе отделочных материалов, поэтому в данном случае его нельзя считать критичным недостатком.

Анализируя табл. 3, необходимо отметить, что изготовление данной плитки достаточно трудоемко ввиду применения многоступенчатой обработки. Этот недостаток компенсируется возможностью использования в качестве сырья низкотоварной древесины (короткомерных отрезков и заготовок низкого качества), за счет чего обеспечивается относительно невысокая себестоимость изготовления.

Выводы

Многоступенчатые способы обработки заготовок из низкотоварной древесины на основе раз-

личных вариантов комбинирования операций обжига, браширования, прессования и термической обработки имеют значительный потенциал для внедрения в промышленность и производства высококачественной продукции – внутренней и внешней облицовки, деталей мебели и декора, товаров народного потребления. Результаты качественной оценки уровня качества заготовок подтверждают целесообразность объединения операций. Способ упрочняющей декоративной обработки деревянных заготовок, объединяющий обжиг, браширование, прессование и термическую обработку, позволяет изготавливать продукцию с уникальным комплексом эксплуатационных и физико-механических свойств: повышенной декоративностью, твердостью, износостойкостью, гигиеничностью, био- и атмосферостойкостью. Последовательность операций обжиг → браширование → прессование → термическая обработка является оптимальным вариантом с точки зрения технологичности. Облицовочная плитка, изготовленная на основе данного способа, имеет ряд весомых преимуществ перед современными аналогами и может стать конкурентоспособным видом продукции на рынке отделочных материалов.

Таблица 2

Преимущества и недостатки эксплуатационных свойств отделочных покрытий

Критерии	Отделочный материал					
	Доска обшивочная профильная	Деревянная мозаика Tarsi	Деревянная плитка Finex	Деревянная плитка Flich	Плитка из МДФ	Облицовочная плитка
Порода древесины	Сосна, ель, лиственница кедр, дуб, осина, липа	Дуб, клен, орех, тик,	Дуб	Сосна/кедр/ дуб («амбарные»)	–	Ель, сосна
Видимость текстуры древесины	+	+	+	+	–	+
Наличие рельефа	–	+/-	–	+/-	+/-	+
Повышенная твердость	–	+/-	+/-	+/-	+	+
Класс пожароопасности	(КМ5)	КМ5)	(КМ5)	(КМ5)	(КМ5)	(КМ5)
Экологичность	+	+	+	+	–	+
Гигиеничность	+	+/-	+	–	–	+
Итого:	4	3,5	3,5	3	2,5	6

Источник: собственные разработки

Преимущества и недостатки технологий изготовления отделочных покрытий

Критерии	Отделочный материал					
	Доска обшивочная профильная	Деревянная мозаика Tarsi	Деревянная плитка Finex	Деревянная плитка Flich	Плитка из МДФ	Облицовочная плитка
Необходимость специального оборудования / инструмента	–	–	–	–	+ (матрица, пуансон)	–
Повышенная трудоемкость изготовления	–	–	–	–	–	+
Возможность использования низкотемпературной (низколиквидной) древесины	–	–	–	–	+	+
Себестоимость изготовления, руб./м ²	от 300	от 3000	от 5000	от 2000	от 6000	от 1500
Итого	3	2	2	2,5	2	2,5

Источник: собственные разработки

Библиографический список

1. Астратова, Г. В. Квалиметрия: методы количественного оценивания качества различных объектов (курс лекций и практических занятий) : учеб. пособие / Г. В. Астратова ; ГОУ ВПО ХМАО – Югры «Сургутский гос. пед. ун-т». – Сургут : РИО СурГПУ, 2014. – 160 с. – ISBN 978-5-93190-321-7.
2. ГОСТ 4.207-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Плиты древесноволокнистые. Номенклатура показателей : издание официальное : дата введения 1980.01.01. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с.
3. ГОСТ 4.210-79. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы керамические отделочные и облицовочные. Номенклатура показателей : издание официальное : дата введения 1980.06.30. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 4 с.
4. Декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий методом тиснения текстуры древесины и имитацией резьбы / А. А. Барташевич, Л. В. Игнатович, С. В. Шетько, С. С. Гайдук // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2018. – №. 2 (210). – С. 197–203.
5. Лихачева, Л. Б. Прессование древесины вдоль волокон при изготовлении торцового щитового паркета : специальность 05.21.05 «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Лихачева Людмила Борисовна ; Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2001. – 16 с.
6. Орлова, Ю. Д. Отделка изделий из древесины / Ю. Д. Орлова. – Москва : Высшая школа, 1968. – 276 с.

7. Патент № 2704849 Российская Федерация, МПК В27М1/08. Способ упрочняющей декоративной обработки изделий из древесины : № 2018122586 : заявл. 20.08.2018 ; опубл. 31.10.2019 / О. А. Рублева, Н. А. Тарбеева ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВятГУ». – 6 с.
8. Уилхайд, Э. Отделочные материалы. Справочник материалов для отделки интерьеров / Э. Уилхайд – Кладезь, 2009. – 256 с. – ISBN: 978-5-9339-5332-6.
9. Хухрянский, П. Н. Прессование древесины / П. Н. Хухрянский. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Лесная промышленность, 1964. – 361 с.
10. Esteves, B. Wood modification by heat treatment: A review / B. Esteves, H. Pereira // BioResources. – 2008. – Vol. 4. – № 1. – P. 370–404.
11. Korkut, S. Evaluation of physical and mechanical properties of wild cherry wood heat-treated using the thermowood process / S. Korkut, A. Aytin // Maderas: Ciencia y Tecnologia. – 2015. – Vol. 17. – № 1. – P. 171–178. – DOI: 10.4067 / S0718-221X2015005000017.
12. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment / J. H. Kwon, T. N. Han, R. H. Shin, N. Ayrilmis // Materials and design. – 2014. – Vol. 62. – P. 375–381. – DOI: 10/1016/j.matdes.2014.05.032.
13. Sandberg, D. Wood modification technologies-a review / D. Sandberg, A. Kutnar, G. Mantanis // iForest-Biogeosciences and Forestry. – 2017. – Vol. 10. – № 6. – P. 895–908. – DOI: 10.3832/ifer2380-01.
14. Shi, J. L. Mechanical behavior of Quebec wood species heat-treated using ThermoWood process / J. L. Shi, D. Kocaefe, J. Zhang // Holz als Roh-und Werkstoff. – 2007. – № 65 (4). – P. 255–259. – DOI: 10.1007/s00107-007-0173-9.
15. The usage of wood wastes in the manufacture of composite materials / N. R. Galyavetdinov, R. R. Khasanshin, R. R. Safin, E. Y. Razumov // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM 15th. – Sofia, 2015. – P. 779–786.

References

1. Astratova G.V. *Kvalimetriya: metody kolichestvennogo otsenivaniya kachestva razlichnyh ob'ektov (kurs leksij i prakticheskikh zanyatij) : uchebnoe posobie* [Qualimetry: methods of quantitative assessment of the quality of various objects (course of lectures and practical exercises: tutorial)]. Surgut: RIO SurGPU, 2014, 160 p. – ISBN 978-5-93190-321-7 (in Russian).
2. GOST 4.207-79. *Sistema pokazatelej kachestva productsii. Stroitelstvo. Plity drevesnovoloknistye. Nomenklatura pokazatelej* [State standard 4.207-79. System of indicators of product quality. Construction. Fiberboard. Nomenclature of indicators]. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2003. 7 p (in Russian).
3. GOST 4.210-79. *Sistema pokazatelej kachestva productsii. Stroitelstvo. Materialy keramicheskie otdelochnye i oblitsovochnye. Nomenklatura pokazatelej* [State standard 4.210-79. System of indicators of product quality. Construction. Ceramic finishing and facing materials. Nomenclature of indicators]. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2003. 4 p (in Russian).
4. Bartashevich A.A., Ignatovich L.V., Shet'ko S.V., Gajduk S.S. (2018) *Decorirovanie elementov mebeli i stolyarno-stroitelnyh izdelij metodom tsneniya tekstury drevesiny i imitatsiej rezby* [Dressing of furniture and joinery components by embossing wood texture and imitation carving]. *Trudy BGTU. Seria 1: Lesnoe hozyajstvo, prirodopolzovanie i pererabotka vozobnovlyaemyh resursov* [Proc. of BGTU “Forestry, nature management and processing of renewable resources”], no. 2 (210), pp. 197-203 (in Russian).
5. Lihacheva L.B. *Pressovanie drevesiny vdol' volokon pri izgotovlenii tortsevogo shchitovogo parketa : avtoref dis. ... kand. tekhn. nauk* [Pressing wood along the fibers in the manufacture of end shield parquet: PhD thesis abstract]. Lihacheva Ludmila Borisovna. Voronezh, 2001, 16 p. (in Russian).

6. Orlova Yu.D. *Otdelka izdelij iz drevesiny* [Finishing wood products]. Moscow: Vysshaya shkola [Graduate school], 1968, 276 p. (in Russian).
7. Rubleva O.A., Tarbeeva N.A. *Sposob dekorativnoy uprochnyayushchej oobrabotki izdelij iz drevesiny* [Method of decorative strengthening processing of wood products]. 2019 Patent RF, no 2704849 (in Russian).
8. Uilhaid E. *Otdelochnye materialy. spravochnik materialov dlya otdelki inter'erov* [Decoration Materials. Directory of materials for interior decoration]. Kladez', 2009, 256 p. ISBN: 978-5-9339-5332-6 (in Russian).
9. Khukhryanskiy P.N. *Pressovanie drevesiny* [Wood pressing]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1964, 361 p. (in Russian).
10. Esteves B., Pereira H. (2008) Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, Vol. 4, no. 1, pp. 370-404.
11. Korkut S., Aytin A. (2015) Evaluation of physical and mechanical properties of wild cherry wood heat-treated using the thermowood process. *Maderas: Ciencia y Tecnologia* 17, no. 1, pp. 171-178. doi: 10.4067 / S0718-221X2015005000017.
12. Kwon J.H., Han T.N., Shin R.H., Ayrilmis N. (2014) Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment. *Materials and design*, Vol. 62, pp. 375-381. doi:10/1016/j.matdes.2014.05.032.
13. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017) Wood modification technologies-a review. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, Vol. 10, no. 6, pp. 895-908. doi: 10.3832/ifer2380-01.
14. Shi J.L., Kocaefe D., Zhang J. (2007) Mechanical behaviour of Quebec wood species heat-treated using ThermoWood process. *Holz als Roh-und Werkstoff*, no. 65 (4), pp. 255-259. doi: 10.1007/s00107-007-0173-9.
15. Galyavetdinov N.R., Khasanshin R.R., Safin R.R., Razumov E.Y. The usage of wood wastes in the manufacture of composite materials. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th, 2015, pp. 779-786.

Сведения об авторах

Тарбеева Наталья Александровна – инженер-лаборант кафедры машин и технологии деревообработки ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация; e-mail: nataly.ntar534@yandex.ru.

Рублева Ольга Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и технологии деревообработки ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», г. Киров, Российская Федерация; e-mail: olga_ru@vyatsu.ru.

Information about authors

Tarbeeva Natalya Aleksandrovna – engineer-laboratory assistant of the Department of Machines and Woodworking Technology, FSBEI HE "Vyatka State University", Kirov, Russian Federation; e-mail: nataly.ntar534@yandex.ru.

Rubleva Olga Anatolyevna – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Machines and Technologies for Woodworking, FSBEI HE "Vyatka State University", Kirov, Russian Federation; e-mail: olga_ru@vyatsu.ru.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОГРУЖЕНИЮ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДИСКА ВЫСЕВАЮЩЕЙ СЕКЦИИ И ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ

доктор технических наук **В.А. Зеликов**¹

доктор технических наук **В.Г. Козлов**²

аспирант **А.Л. Жиликов**²

экстерн **Е.В. Козлова**²

студент **А.А. Скрыпников**³

экстерн **А.А. Горбунов**³

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
г. Воронеж, Российская Федерация

3 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
г. Воронеж, Российская Федерация

В настоящее время методы выполнения исследований в агроинженерии, а также используемое оборудование шагнули далеко вперед. Многие приборы для определения давления, крутящего момента, скорости движения, частоты вращения и так далее основаны на применении электрических импульсов, магнитных полей и других основ. Как правило, такие устройства довольно дорогостоящие и не всегда доступны, поэтому на местах исследователи применяют тензометрическую аппаратуру, изготавливают тензоблоки и проводят их тарировку. У нас стоит задача определения силы сопротивления погружению плоского диска в почву при движении агрегата. Поэтому принято решение разработать и протарировать установку для определения силы сопротивления погружению центрального диска высевающей секции. В статье представлена схема устройства для определения силы сопротивления погружению центрального диска высевающей секции, которая позволила в полевых условиях получить экспериментальные данные и найти зависимость силы сопротивления погружению плоского диска в почву.

Ключевые слова: дисковая посевная секция, сила сопротивления, тарировка, плоский диск, сошник

DETERMINATION OF IMMERSION RESISTANCE OF THE CENTRAL DISC OF SEEDING SECTION AND ITS TECHNICAL SOLUTION

DSc (Engineering) V.A. Zelikov¹

DSc (Engineering) V.G. Kozlov²

post-graduate student A.L. Zhilyakov²

external student E.V. Kozlova²

student A.A. Skrypnikov³

external student A.A. Gorbunov³

1 – FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

2 – FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation

3 – FSBEI HE "Voronezh State University of Engineering Technologies", Voronezh, Russian Federation

Abstract

Nowadays, the methods of performing research in agricultural engineering, as well as the used equipment, have stepped forward. Many instruments for determining pressure, torque, travel speed, rotational speed, and so on, are based on the use of electrical impulses, magnetic fields and other fundamentals. As a rule, such devices are quite expensive and not always available. Therefore, in the field, researchers use strain gauge equipment, make strain gauge blocks, and calibrate them. Our task is to determine the resistance force of a flat disc sinking into the soil when the unit moves. Therefore, it was decided to develop and calibrate the installation for determining the immersion resistance force of the central disc of the seeding section. The article presents a diagram of a device for determining the immersion resistance force of the central disc of the seeding section, which made it possible to obtain experimental data and to find the dependence of the resistance force of a flat disc when deepening into the soil.

Keywords: disc sowing section, resistance force, calibration, flat disc, gouter

Введение

Диск как конструктивный элемент посевной секции имеет простейшую форму и, казалось бы, аналитическим путем возможно установить силы, действующие на него при погружении и движении в почве на различных скоростях, но в действительности все это не так.

Силы сопротивления диску со стороны почвы зависят от ее твердости, влажности, глубины погружения, коэффициента трения по стали, удельного сопротивления почвы сдвигу, а также от радиуса, толщины диска, угла заточки режущей кромки и др.

Вышесказанное указывает на необходимость экспериментального определения силы сопротивления погружению основного центрального диска секции в почву.

Для обоснования параметров дисковой посевной секции необходимо располагать количественной информацией, такой как:

- закономерность изменения сопротивления внедрения плоского диска в почву;

- значение угла скалывания почвы при формировании борозды посредством плоского диска;

- параметры борозд под семена, создаваемых посредством дисков, которые устанавливаются под углом к направлению движения;

- влажность и твердость опытного участка в период проведения опытов [7, 10–15].

Для этого необходимо:

- разработать конструктивную схему устройства для проведения исследований по оценке сопротивления погружению плоского диска в почву, изготовить ее, провести тарировку и апробировать в полевых условиях;

- разработать конструктивную схему устройства, позволяющего определить боковую силу, действующую на посевной диск, расположенный под углом к направлению движения.

Материалы и методы

Известен ряд технических решений, которые частично могут решать стоящую задачу. Предложен способ нахождения величины смятия почвы при погружении конического плунжера [1], затем расчетным путем находят отношение нагрузки, действующей на плунжер к объему смятой почвы. Недостаток способа – не приведена схема устройства, реализующего предложенный способ.

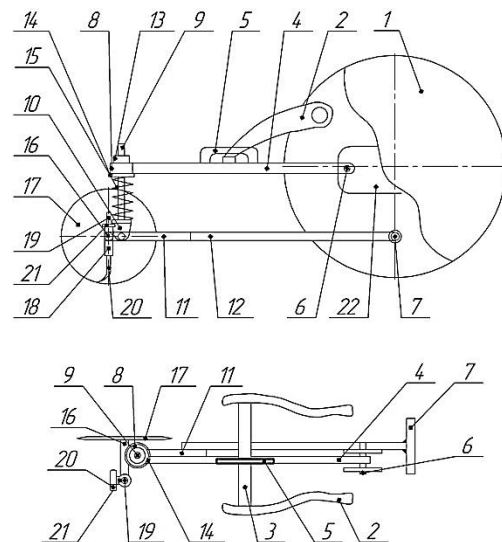
Также предложен способ расчета аналитическим путем удельного сопротивления плугу при вспашке [2] по известным плотности пласта и величине всасывающего давления. Недостаток способа – нет схем устройств, которые используются при нахождении параметров состояния почвы.

Известны устройства, оценивающие износ и сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин [3, 4, 8, 9]. Недостаток – не показаны конструктивные элементы, погружающие рабочие органы в почву и регистрирующие усилие сопротивления погружению.

В твердомере почвы ИП 232 РЭ используется спиральная оттарированная пружина. Прибор не приспособлен к погружению в почву других, кроме плунжеров, элементов, типа диск [6].

Проведенный краткий анализ способов и устройств по оценке взаимодействия рабочих органов сельхозмашин с почвой указывает на необходимость разработки и изготовления установки, позволяющей определять силу сопротивления погружению диска в почву. На рис. 1 представлена схема установки, на которую был получен патент РФ № 152066 [4]. Установкой для определения силы сопротивления погружения диска в почву пользуются следующим образом: тракторист, находясь в тракторе 1, включает гидросистему трактора, в результате чего рычаги 2 опускаются вниз, но к ним жестко прикреплена балка 3, контактирующая с продольной балкой 4, на конце которой установлен упор 8 и кронштейном 10 помещена оттарированная пружина 15, внутри которой расположен шток 9. По величине выдвижения штока 9 над гайкой 13 и тарировочного графика пружины 15 определяют силу

сопротивления погружению диска в почву. Глубину погружения диска в почву фиксируют одновременно с нахождением силы сопротивления. Глубина погружения диска в почву – это расстояние между торцом направляющей 18 и ограничителем хода штока 21, его фиксируют с помощью фотокамеры с последующей обработкой кадров.



а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – установка энергетическая (трактор); 2 – рычаги тракторной навески; 3 – балка поперечная; 4 – балка; 5 – скоба; 6 – палец; 7 – кронштейн верхней тяги гидронавески; 8 – упор; 9 – шток; 10 – кронштейн; 11 – кронштейн оси диска; 12 – тяга; 13 – гайка; 14 – шайба; 15 – пружина; 16 – ось диска; 17 – диск; 18 – направляющая; 19 – шток со шкалами; 20 – ползун; 21 – ограничитель хода штока; 22 – втулка оси нижних тяг гидронавески

Рис. 1. Установка для определения силы сопротивления [4]

В транспортное положение после окончания исследований установку переводят в такой последовательности: включают гидросистему трактора на «подъем», в результате чего рычаги 2 перемещаются вверх, увлекают за собой балку 3, контактирующую со скобой 5, жестко прикрепленной к балке 4, а к концу балки 4 посредством упора 8, гайки 13, штока 9, кронштейна 10 закреплена технологическая часть установки, которая поднимается в транспортное положение.

Применение установки позволит с достаточной степенью точности получить зависимость силы сопротивления погружению диска в почву от глубины, что исключает приобретение дорогостоящей тензометрической аппаратуры.

В условиях мастерских изготовлена установка, позволяющая определять силы сопротивления погружению диска в почву, разработанная и защищенная патентом РФ на полезную модель [5]. Следует заметить, что с целью упрощения конструкции установки в части определения глубины погружения диска в почву на одной его стороне выполнено определенное количество концентрических окружностей. Радиус каждой окружности увеличивается на один сантиметр, это позволяет при работе установки определять глубину погружения диска в почву, зная общее количество окружностей, путем вычета тех, которые находятся в почве. Количество окружностей, находящихся в почве, получаем из анализа фотоматериалов фиксации работы установки (рис. 2).



Рис. 2. Определение количество окружностей, находящихся в почве (фото авторов)

Пружину установки оттарировали на специальном стенде (рис. 3).

Силу сопротивления погружению диска в почву определяли на специальном стенде по тарировочному графику (рис. 4), построенному по экспериментальным данным (табл. 1).

По результатам обработки фотоматериалов, где указаны величина деформации пружины и глубина погружения диска, с использованием тарировочного графика (табл. 2) строится график

изменения силы сопротивления погружению плоского диска от глубины (рис. 5).



Рис. 3. Тарировка пружины (фото авторов)

Таблица 1
Результаты тарировки пружины
(собственные разработки)

P, кН	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
l, см	0,66	1,34	1,82	2,28	2,74	3,3	3,84	4,58	4,96	5,34
l, дел.	33	67	91	114	137	165	192	229	248	267

Расположение точек на графике при четырех значениях глубины погружения диска указывает на возможность описания их линейной зависимости, т. е. $R_{цдз} = 72,433$; $h_y = 17,585$.

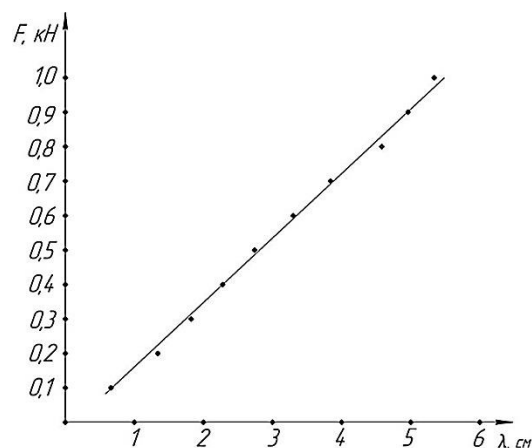


Рис. 4. Тарировочный график пружины
(собственные разработки)

Из графика (рис. 5) видно, что потребуется сила 485 Н для погружения диска в почву на глубину 7 см.

Таблица 2
Результаты экспериментальных исследований по определению силы сопротивления погружению диска в почву при скорости движения 3,33 м/с (собственные разработки)

№ п/п	Глубина погружения диска, см	Величина сжатия пружины, см	Сила сопротивления, Н
1	7,0	1,13	500,00
2	7,0	1,16	492,34
3	7,5	1,24	530,21
4	7,5	1,18	500,00
5	7,5	1,21	514,89
6	6,5	1,10	454,47
7	7,0	1,10	454,47
8	6,5	1,16	492,34
9	6,5	0,99	424,26
10	6,0	0,98	416,60
11	7,5	1,34	568,09

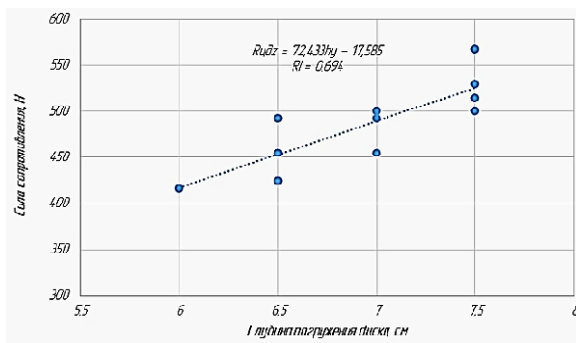


Рис. 5. График изменения силы сопротивления погружению плоского диска от глубины при скорости движения $V = 3,33$ м/с (собственные разработки)

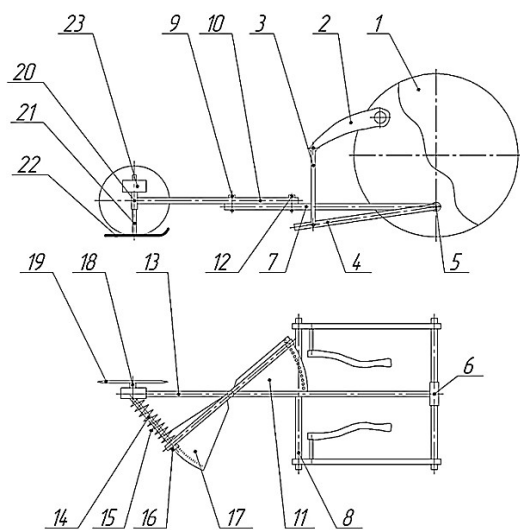
В целях создания борозды для укладки семян и стартового удобрения посевные диски устанавливаются под острыми углами, что обуславливает появление силы, действующей на боковую поверхность диска, а это и нарушает стабилизацию движения посевной секции в горизонтальной плоскости. Для регистрации боковой силы разработана конструктивная схема установки (рис. 6), навешиваемой на гидравлическую навеску трактора.

Установка для определения боковой силы состоит из трактора 1, к концам рычагов гидронавески 2 которого шарнирно закреплены раскосы 3, нижние концы которых также закреплены на нижних тягах 4 навески трактора, причем передние концы нижних тяг 4 гидронавески трактора шарнирно установлены на концах оси 5, а в средней части оси 5 установлена втулка 6. К втулке 6 жестко прикреплена тяга 7, размещенная ниже балки 8, соединяющей концы нижних тяг 4. К заднему концу тяги 7 посредством пальца 9 шарнирно прикреплен двулучий рычаг 10, причем передний конец двулучевого рычага находится над сектором со шкалой углов 11 с возможностью установки посредством фиксатора 12 в определенном положении над сектором. Посредством пальца 9 также шарнирно крепится передний кронштейн диска 13, причем к заднему концу кронштейна шарнирно прикреплен шток 14 с установленной на нем пружинной 15, свободный конец штока 14 помещен в отверстие, выполненное в заднем конце двулучевого рычага 10, свободный конец штока 14 оснащен гайкой 16, к заднему концу двулучевого рычага 10 жестко прикреплена линейка 17, нулевое значение шкалы линейки совпадает с концом штока 14. К заднему концу кронштейна диска 13 жестко прикреплена ось диска 18 с установленным на ней диском 19, причем к торцу оси 18 жестко прикреплена направляющая штока 20, куда помещен шток 21 ограничителя глубины погружения в почву 22 диска 19. На верхний конец штока 21 ограничителя глубины погружения в почву диска 19 установлены грузы 23.

Результаты и обсуждение

Последовательность для определения боковой силы, которая действует на диск, установленный под углом к направлению движения, следующая: трактор с навешенной установкой выводится на учетную делянку поля, посредством гидросистемы трактора рычаги 2 опускаются вниз, в результате чего раскосы 3, нижние тяги 4, балка, соединяющая концы нижних тяг 8 также опускаются вниз, в результате чего тяга 7 и прикрепленные к ней посредством пальца 9 конструктивные элементы: двулучий рычаг 10,

кронштейн диска 13, ось диска 18, диск 19, направляющая штока 20, шток 21, ограничитель погружения диска 22, грузы 23 опускаются вниз, при этом ограничители погружения диска 22 контактируют с почвой. Посредством перемещения штока 21 в его направляющей 20 устанавливается требуемая глубина погружения диска 19 в почву. При необходимости устанавливаются дополнительные грузы 23. Перед опусканием установки в рабочее положение посредством гайки 16 выбирается свободный зазор пружины и отмечается положение конца штока 14 относительно шкалы 17, затем передний конец двуплечего рычага 10 отводится на требуемый угол и устанавливается на секторе шкалы углов 11 посредством фиксатора 12. Это действие позволяет установить диск 19 под заданным углом к направлению движения.



а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – установка энергетическая (трактор); 2 – кронштейн гидронавески; 3 – раскос навески трактора; 4 – нижняя тяга навески; 5 – ось; 6 – втулка; 7 – тяга; 8 – балка; 9 – палец; 10 – рычаг двуплечий; 11 – сектор со шкалой углов; 12 – фиксатор; 13 – кронштейн диска; 14 – шток; 15 – пружина; 16 – гайка; 17 – линейка; 18 – ось диска; 19 – диск; 20 – направляющая штока; 21 – шток; 22 – ограничитель погружения диска в почву; 23 – утяжелитель (грузы)

Рис. 6. Установка для определения боковой силы, действующей на плоский диск (собственные разработки)

Когда на диск 19 действует боковая сила, сжимающая пружину 15, конец штока 14 принимает определенное положение относительно нулевой отметки, которое фиксирует фотокамера. Угол отклонения диска от линии направления движения определяется по формуле

$$a = a_0 - \Delta \bar{a}, \quad (1)$$

где a , a_0 – значение угла отклонения диска действительное и установленное перед проведением опыта, град.; $\Delta \bar{a}$ – среднее значение угла поворота диска, град.

Значение $\Delta \bar{a}$ определяется как средняя величина углов отклонения

$$\Delta \bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (2)$$

где $\Delta \bar{a}$ – значение угла отклонения диска от первоначально установленного, град.; n – количество проанализированных кадров, шт.

Необходимо отметить, что шкала 17 имеет двойную тарировку по углу (в градусах) и линейную (в мм). Фиксация места положения точки конца штока 14 относительно шкалы, например, при значении N делений (мм) позволяет с применением тарировочного графика определить силу сжатия пружины

$$F = N \cdot c, \quad (3)$$

где N – число делений на шкале, мм; c – жесткость пружины, Н/мм.

После нахождения ряда значений боковой силы, действующей на диск, при различных значениях угла атаки строится график изменения боковой силы, действующей на диск, от его угла атаки при различных глубине погружения и скорости движения.

Выводы

Разработанная, изготовленная и запатентованная установка позволила в полевых условиях получить экспериментальные данные, позволившие найти зависимость силы сопротивления погружению плоского диска в почву; установлено, что в диапазоне глубины погружения, равному половине радиуса диска сила сопротивления подчиняется линейной зависимости: при диаметре плоского диска 50 см, твердости почвы 43,1 Н/см³, глубине погружения 7 см, скорости движения 3,3 м/с, сила сопротивления внедрению составила 485Н.

Библиографический список

1. Патент 2139516 Российская Федерация, МПК⁶ G01N3/42. Способ определения удельного сопротивления почвы смятию / Заявитель Путрин А.С. ; патентообладатель Путрин А. С. – № 97116872/28 ; заяв. 30.09.1997 ; опубл. 10.10.1999.
2. Патент 2028614 Российская Федерация, МПК⁶ G01N33/24. Способ определения удельного сопротивления почв при пахоте / Заявитель Гончарова Е. М., Прохоров А. Н., Сапожников П. М. ; патентообладатель Почвенный институт им. В. В. Докучаева. – № 5021190/15 ; заяв. 26.08.199 ; опубл. 09.02.1995.
3. А. с. 1405716 СССР МПК⁴ A01B17/00 Устройство для определения сопротивления и степени износа почвообрабатывающих рабочих органов / Заявитель Скепко Г. И., Малюгин Т. Т. ; патентообладатель Проектно-конструкторский технологический институт министерства лесной и деревообрабатывающей промышленности УССР. – № 4194641 ; заяв. 19.12.1986 ; опубл. 30.06.1988.
4. Патент 2105280 Российская Федерация, МПК⁶ G01M19/00, A01B17/00. Устройство для определения сопротивления и степени износа почвообрабатывающих рабочих органов / Заявитель Салдаев А. М. ; патентообладатель Салдаев А. М. – № 95119014/13 ; заяв. 09.11.1995 ; опубл. 20.02.1998.
5. Патент 152066 Российская Федерация, МПК A01B17/00. Установка для определения силы сопротивления погружению диска в почву / Заявитель Скурятин Н.Ф., Новицкий А.С, Жилияков А.Л, Журбенко С.Ю.; патентообладатель ФГБОУ ВПО Белгородская ГСХА им. В.Я. Горина. – № 2015100540/13 ; заяв. 12.01.2015 ; опубл. 27.04.2015.
6. Инструкция по эксплуатации прибора для измерения твердости почвы ИП 232 РЭ.
7. Четыре операции за один проход / Н. Ф. Скурятин [и др.] // Сельский механизатор. – 2014. – № 12. – С. 4–5.
8. Разработка конструктивно-технологической схемы посевной секции зернотуковой сеялки прессового типа / А. В. Бондарев [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 12 (67). – С. 40–45.
9. Бондарев, А. В. Разработка энергосберегающего способа посева зерновых культур с одновременным внесением удобрения: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Бондарев Андрей Владимирович. – Воронеж : ВГАУ, 2006. – 21 с.
10. Schonberger, Hg. Ertragsbildung von Getreide-Kumung und Feldaufgang / Hg. Schonberger, A. Zimmerman. – DLG – Mitteilungen, 1984, Bd 99, H. 7, 385 s.
11. Klapp, E. Lehrbch des Acker - und Pflanzen – baues / E. Klapp. – 6 Aulf. P. Parey, B.-H, 1967. – 603 p.
12. Combined unit for preparation of soil for sowing grain crops / A. Apazhev, V. Smelik, Y. Shekikhachev, L. Hazhmetov // 18th international scientific conference engineering for rural development. – 2019. – P. 192–198. – DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N235.
13. The Sowing of Grain Crops in Dry Conditions / I. N. Krasnov, A. V. Kasyanenko, I. A. Kravchenko [et al.] // International journal of advanced biotechnology and research. – 2017. – P. 957–963.
14. Preparation of grain for winter sowing in arid conditions / I. N. Krasnov, I. A. Kravchenko, M. A. Bondareva, E. M. Syomochkina // News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences. – 2014. – P. 58–61.
15. Kyul, E. V. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards / E. V. Kyul, A. K. Apazhev, A. B. Kudzaev // Indian Journal of Ecology. – 2017. – P. 239–243.

References

1. Patent 2139516 Rossiyskaya Federatsiya, MPK⁶ G01N3/42. *Sposob opredeleniya udel'nogo soprotivleniya pochvy smyatuyu* / Zayavitel' Putrin A.S.; patentoobladatel' Putrin A. S. – № 97116872/28; zayav. 30.09.1997; opubl. 10.10.1999 (in Russian).

2. Patent 2028614 Rossiyskaya Federatsiya, MPK6 G01N33/24. *Sposob opredeleniya udel'nogo soprotivleniya pochv pri pakhote / Zayavitel' Goncharova Ye. M., Prokhorov A. N., Sapozhnikov P. M.; patentoobladatel' Pochvennyy institut im. V. V. Dokuchayeva – № 5021190/15; zayav. 26.08.199; opubl. 09.02.1995 (in Russian).*

3. A. s. 1405716 SSSR MPK4 A01V17/00 *Ustroystvo dlya opredeleniya soprotivleniya i stepeni iznosa pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov / Zayavitel' Skepko G. I., Malyugin T. T.; patentoobladatel' Proyektno-konstruktorskiy tekhnologicheskoy institut ministerstva lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti USSR – №4194641; zayav. 19.12.1986; opubl. 30.06.1988 (in Russian).*

4. Patent 2105280 Rossiyskaya Federatsiya, MPK6 G01M19/00, A01B17/00. *Ustroystvo dlya opredeleniya soprotivleniya i stepeni iznosa pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov / Zayavitel' Saldayev A. M.; patentoobladatel' Saldayev A. M. – №95119014/13; zayav. 09.11.1995; opubl. 20.02.1998 (in Russian).*

5. Patent 152066 Russian Federation, IPC A01V17 / 00. *Installation for determining the strength of resistance to the disk sinking into the soil / Applicant Skuryatin N. F., Novitsky A. S, Zhilyakov A. L, Zhurbenko S. Yu.; patent holder of the Belgorod state agricultural Academy named after V. ya. Gorin-no. 2015100540/13; application. 12.01.2015; publ. 27.04.2015 g.*

6. *Instruktsiya po ekspluatatsii pribora dlya izmereniya tverdosti pochvy IP 232 RE (in Russian).*

7. Skuryatin N.F. (et al.) (2014) *Chetyre operatsii za odin prokhod. Sel'skiy mekhanizator*, № 12, pp. 4-5 (in Russian).

8. Bondarev A.V. (et al.) (2016) *Razrabotka konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy posevnoy seksii zernotukovoy seyalki pressovogo tipa. Vestnik NGIEI*, № 12 (67), pp. 40-45 (in Russian).

9. Bondarev A.V. *Razrabotka energosberegayushchego sposoba poseva zernovykh kul'tur s odnovremennym vneseniyem udobreniya: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk [PhD (Engineering) thesis abstr.]*. Voronezh: VGUU, 2006, 21 p. (in Russian).

10. Schonberger Hg., Zimmerman A. *Ertragsbildung von Getreide-Kumung und Feldaufgang. DLG – Mitteilungen*, 1984, Bd 99, H. 7, 385 s.

11. Klapp E. *Lehrbch des Acker - und Pflanzen - baues*, 6 Aulf. P.Parey, B.-H, 1967. 603 p.

12. Apazhev A, Smelik V., Shekikhachev Y., Hazhmetov L. *Combined unit for preparation of soil for sowing grain crops. 18th international scientific conference engineering for rural development*, 2019, pp. 192-198. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N235.

13. Krasnov I.N., Kasyanenko A.V., Kravchenko I.A. (et al.) (2017) *The Sowing of Grain Crops in Dry Conditions. International journal of advanced biotechnology and research*, pp. 957-963.

14. Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Bondareva M.A., Syomochkina E.M. (2014) *Preparation of grain for winter sowing in arid conditions. News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Natural sciences*, pp. 58-61.

15. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B. (2017) *Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. Indian Journal of Ecology*, pp. 239-243.

Сведения об авторах

Зеликов Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

Козлов Вячеслав Геннадиевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Жиляков Алексей Леонидович – аспирант кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: zhiljakoff@mail.ru.

Козлова Елена Владимировна – экстерн ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: nasevl@mail.ru.

Скрыпников Алексей Алексеевич – студент факультета управления и информатики в технологических системах ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: skrypnikovasafe@mail.ru.

Горбунов Алексей Анатольевич – экстерн факультета управления и информатики в технологических системах ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: skrypnikovasafe@mail.ru.

Information about authors

Zelikov Vladimir Anatolyevich – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Organization of Transportation and Traffic Safety, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

Kozlov Vyacheslav Gennadievich – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Operation of Transport and Technological Machines, FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation; e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Zhilyakov Aleksey Leonidovich – post-graduate student of the Department of Operation of Transport and Technological Machines, FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation; e-mail: zhiljakoff@mail.ru.

Kozlova Elena Vladimirovna – external student, FSBEI HE "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I", Voronezh, Russian Federation; e-mail: nasevl@mail.ru.

Skrypnikov Aleksey Alekseevich – student of the Faculty of Management and Informatics in Technological Systems, FSBEI HE "Voronezh State University of Engineering Technologies", Voronezh, Russian Federation; e-mail: skrypnikovasafe@mail.ru.

Gorbunov Aleksey Anatolyevich – external student of the Faculty of Management and Informatics in Technological Systems, FSBEI HE "Voronezh State University of Engineering Technologies", Voronezh, Russian Federation; e-mail: skrypnikovasafe@mail.ru.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ МАШИН УДАЛЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

кандидат технических наук, доцент **А.А. Платонов**¹

кандидат технических наук, доцент **О.В. Терновская**²

1 – ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»,

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,

г. Воронеж, Российская Федерация

Для содержания транспортных линейных инфраструктурных объектов в надлежащем состоянии на их территории в соответствии с требованиями ряда нормативных документов организуются работы по своевременному удалению произрастающей нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР). С учётом ранее выявленной автором недостаточной изученности вопроса определения возможной эффективности применения тех или иных технологических процессов удаления НДКР в различных природно-производственных условиях целью исследования являлось определение величин капитальных вложений на формирование систем машин, механизмов и оборудования для осуществления технологических процессов удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий ряда линейных инфраструктурных объектов (ЛИО). Для реализации цели исследования в статье для наиболее характерных технологических процессов удаления НДКР с территорий ЛИО была предложена система машин, механизмов и оборудования различного технического уровня и ценовой категории, соответствующих современным представлениям и тенденциям развития техники в области лесозаготовок и лесного хозяйства. С помощью предложенного в статье математического аппарата автором получены интервалы и величины капитальных вложений на формирование систем машин для наиболее характерных технологических процессов удаления НДКР, предложен термин «плато капитальных вложений на формирование систем машин», приведены рекомендации производству об экономически обоснованном сравнении ряда технологических процессов с целью выявления возможностей их замены.

Ключевые слова: линейный инфраструктурный объект, нежелательная растительность, удаление, технологический процесс, система машин, капитальные вложения

FEATURES OF CAPITAL INVESTMENT FORMATION FOR CREATION OF MACHINE SYSTEMS FOR UNWANTED VEGETATION REMOVAL

PhD (Engineering), Associate Professor **A.A. Platonov**¹

PhD (Engineering), Associate Professor **O.V. Ternovskaya**²

1 – FSBEI HE "Rostov State Transport University", Rostov-on-Don, Russian Federation

2 – FSBEI HE "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation

Abstract

Activities for timely removal of growing unwanted tree and shrub vegetation (TSV) for the maintenance of transport linear infrastructure facilities in proper condition in accordance with the requirements of a number of regulatory documents have been organized. Taking into account previously revealed insufficient study of the issue of determining the possible effectiveness of the use of certain technological processes for TSV removal in various natural and industrial conditions, the purpose of the study was to determine the values of capital investments for the formation of machine systems, mechanisms and equipment for the implementation of technological processes for removing unwanted tree and shrub vegetation from territories of linear infrastructure objects (LIO). A system of machines, mechanisms and

equipment of various technical levels and price categories was proposed to implement the research goal of removing TSV from the territories of LIO. The system corresponds to modern concepts and trends in the development of technology in the field of logging and forestry. With the help of mathematical apparatus proposed in the article, the author has obtained intervals and amounts of capital investments for the formation of machine systems for the most characteristic technological processes for removing TSV. The term "plateau of capital investments for the formation of machine systems" has been proposed and recommendations for production on an economically justified comparison of a number of technological processes in order to identifying opportunities to replace them have been made.

Keywords: linear infrastructure object, unwanted vegetation, removal, technological process, machine system, capital investment

Введение

Для выполнения требований ряда нормативных документов [5, 8–10] о содержании линейных инфраструктурных объектов (полос отвода железных и автомобильных дорог, газо-, нефте- и продуктопроводов, тепловых сетей, а также линий высоковольтной передачи) в надлежащем состоянии на территориях вышеуказанных объектов организуются работы по своевременному удалению нежелательной древесно-кустарниковой растительности (НДКР). Результаты проведённых нами в 2018–2019 гг. исследований выявили общую тенденцию к увеличению объёмов данных работ с достигнутой к настоящему времени общей протяжённостью среднегодовой виртуальной полосы удаления НДКР вдоль линейных частей инфраструктурных объектов в 29 019 пог. км. Нами было установлено, что в настоящее время при удалении НДКР с территорий линейных инфраструктурных объектов (ЛИО) в общей сложности находят применение более 50 технологических процессов (ТП), а более 30 % выполняемых ТП осуществляется в охранной зоне трасс высоковольтных линий (ВЛ). Кроме того, нами было определено, что при отсутствии единого технологического процесса, в равной степени соответствующего различным природно-производственным условиям выполнения работ на территориях ЛИО, лидерами по степени распространённости являются, например, такие ТП, как «Расчистка трассы (просеки) мульчированием» (37 % и 33 % для полос отвода железных дорог и охранных зон трасс ВЛ соответственно), «Срезание (вырубка) НДКР с последующим её дроблением в щепу» (34 % для охранных зон трасс магистральных нефтепроводов), «Срезание (вырубка) НДКР с последующей её вывозкой» (44 % и 35 % для охранных зон трасс магистральных газопроводов и полос от-

вода автомобильных дорог), «Вырубка НДКР с последующим её сжиганием» (52 % для полос отвода железных дорог).

Выполненный информационный поиск и анализ результатов работ, посвящённых исследованию темы надлежащего содержания объектов транспортных инфраструктур, позволил установить, что ряд отечественных [2, 3] и зарубежных [12–15] учёных наибольшее внимание в своих работах акцентируют на вопросах высокопроизводительных методов удаления НДКР (например, при помощи самоходного мульчера [1, 4, 11]), не уделяя (на наш взгляд) должного внимания иным способам и методам борьбы. При этом нами была выявлена недостаточная изученность вопроса определения возможной эффективности применения тех или иных технологических процессов удаления НДКР в различных природно-производственных условиях осуществления работ на территориях ЛИО.

Цель исследования

Определение величин капитальных вложений на формирование систем машин, механизмов и оборудования для осуществления технологических процессов удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территорий линейных инфраструктурных объектов с обоснованием целесообразности экономически обоснованного сравнения рассматриваемых технологических процессов.

Для реализации сформулированной цели исследований нам необходимо было решить следующие задачи:

– выявить наиболее характерные технологические процессы удаления нежелательной растительности с территорий инфраструктурных объектов транспорта;

– обосновать математический аппарат для определения величин капитальных вложений на формирование систем машин;

– установить целесообразность дальнейшего сравнения рассматриваемых технологических процессов удаления НДКР.

Материалы и методы исследований

Материалами исследований являлись актуальные на момент выполнения работы нормативные документы ряда акционерных обществ, посвящённые установлению требований к порядку и правилам удаления нежелательной древесной (а именно: кустарника, мелкокося, подлеска и поросли) растительности с территорий линейных объектов транспортной инфраструктуры.

При реализации указанной цели исследования нами рассматривались существующие технологические процессы (ТП), формирующие исключительно механические (срезанием, вырубанием и т.д.) способы удаления НДКР. Обработка полученных данных выполнялась в соответствии с общепринятыми методиками определения статистических характеристик.

Результаты исследований и их обсуждение

Выполненное нами исследование степени распространённости технологических процессов

удаления НДКР с территорий линейных инфраструктурных объектов (детальное рассмотрение результатов которого не входит в цели и задачи данной статьи) позволило разделить все существующие ТП на следующие группы (рис. 1).

С учётом многообразия природно-производственных условий (в которых находятся места воздействия на нежелательную древесно-кустарниковую растительность [6, 7]), различных финансовых возможностей организации-заказчика и исполнителя (в случае передачи на аутсорсинг) работ, а также целого ряда иных (в том числе неучтённых) факторов (рассмотрение которых также не входит в цели и задачи данной статьи), нами для наиболее характерных технологических процессов удаления НДКР с территорий ЛИО (с учётом исследованного нами производственного опыта ряда организаций) предлагается система машин, представленная в табл. 1.

В анализ нами были приняты машины, механизмы и оборудование различного технического уровня и ценовой категории, соответствующие, однако, при этом современным представлениям и тенденциям развития техники в области лесозаготовок и лесного хозяйства.

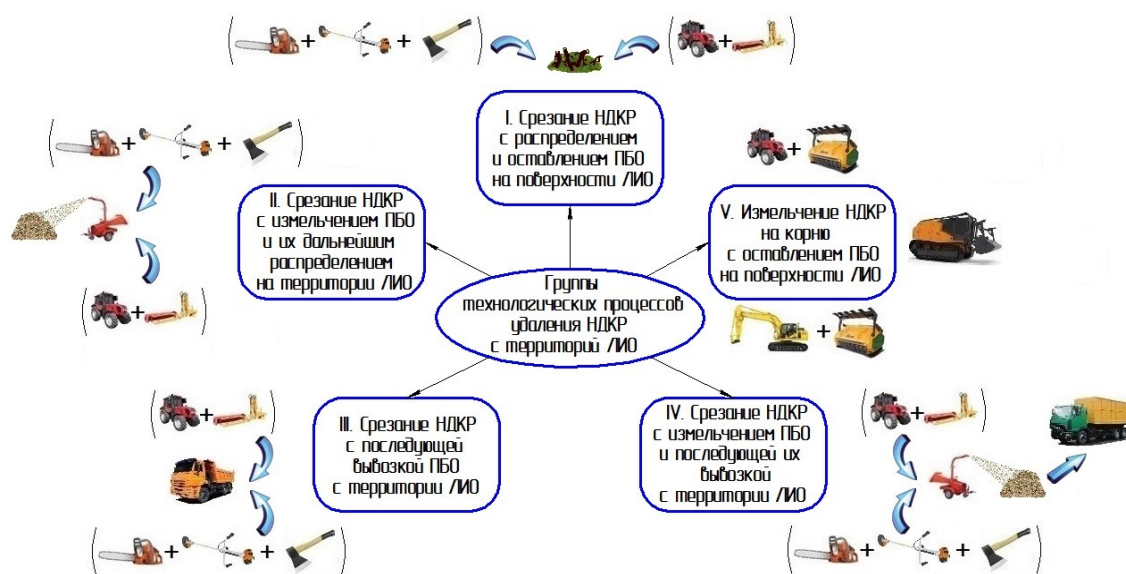


Рис. 1. Группы технологических процессов удаления нежелательной растительности с территорий ЛИО (собственная разработка авторов)

Капитальные вложения на формирование систем машин технологических процессов удаления
нежелательной древесно-кустарниковой растительности

Операция технологического процесса (ТП)		Марка машины, механизма, оборудования		Капитальные вложения, тыс. руб.		
сущность	способ			на 1 операцию ТП	Среднее	Итого (<u>min...max</u> , среднее)
1	2	3		4	5	6
<i>ТП1 – срезание НДКР с распределением и оставлением порубочных остатков на поверхности линейного инфраструктурного объекта</i>						
ТП 1.1	1.1.1 Срезание НДКР	р	Husquarna-254 (STIHL MS260, Oleo-Мас 941CX) и/или STIHL FS490 (STIHL HSE71, Husqvarna 545F) и/или STIHL 1926 (Fiskars X10Small)	42...106	77,5	<u>42...106</u> 77,5
	1.1.2 Сгребание ПБО	р	–	–	–	
ТП 1.2	1.2.1 Срезание НДКР	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + К-1.7 (К-78М, НО-82, БЛ-2, КРТ-1Б)	1517...2720	1944,3	<u>1727...5150</u> 3784,9
	1.2.2 Сгребание ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ЕМ 2200 (ГЛ-3000, ГУ Интатех, ЗПИ, ОУЛ-24)	210...2430	1840,6	
<i>ТП2 – срезание НДКР с измельчением порубочных остатков и их дальнейшим распределением на территории линейного инфраструктурного объекта</i>						
ТП 2.1	2.1.1 Срезание НДКР	р	Husquarna-254 (STIHL MS260, Oleo-Мас 941CX) и/или STIHL FS490 (STIHL HSE71, Husqvarna 545F) и/или STIHL 1926 (Fiskars X10Small)	42...106	77,5	<u>1543...5224</u> 2731,9
	2.1.2 Сгребание ПБО	р	–	–	–	
	2.1.3 Измельчение ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221)+ЕМ 160 (ЕМ-210, МДР-0.8, В200-Р Торнадо, ВОХЕР ВХ92R, ДП660Т) и/или ВТГ-90+Skorpion 250R/90 (Belarus-1502+Farmi CH260 DF)	1501...5118	2654,4	
ТП 2.2	2.2.1 Срезание НДКР	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + К-1.7 (К-78М, НО-82, БЛ-2, КРТ-1Б)	1517...2720	1944,3	<u>1908...10268</u> 6439,3
	2.2.2 Сгребание ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ЕМ 2200 (ГЛ-3000, ГУ Интатех, ЗПИ, ОУЛ-24)	210...2430	1840,6	
	2.2.3 Измельчение ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221)+ЕМ 160 (ЕМ-210, МДР-0.8, В200-Р Торнадо, ВОХЕР ВХ92R, ДП660Т) и/или ВТГ-90+Skorpion 250R/90 (Belarus-1502+Farmi CH260 DF)	181...5118	2654,4	
ТП 2.3	2.3.1 Срезание НДКР	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + К-1.7 (К-78М, НО-82, БЛ-2, КРТ-1Б)	1517...2720	1944,3	<u>2156...13238</u> 8537,1
	2.3.2 Сгребание ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ЕМ 2200 (ГЛ-3000, ГУ Интатех, ЗПИ, ОУЛ-24)	210...2430	1840,6	
	2.3.3 Измельчение ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221)+ЕМ 160 (ЕМ-210, МДР-0.8, В200-Р Торнадо, ВОХЕР ВХ92R, ДП660Т) и/или ВТГ-90+Skorpion 250R/90 (Belarus-1502+Farmi CH260 DF)	181...5118	2654,4	
	2.3.4 Захоронение (закапывание) ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ЕМ 100 (БЛ 21, Tifermec)	248...2970	2097,8	
<i>ТП3 – срезание НДКР с последующей вывозкой порубочных остатков с территории линейного инфраструктурного объекта</i>						
ТП 3.1	3.1.1 Срезание НДКР	р	Husquarna-254 (STIHL MS260, Oleo-Мас 941CX) и/или STIHL FS490 (STIHL HSE71, Husqvarna 545F) и/или STIHL 1926 (Fiskars X10Small)	42...106	77,5	<u>3892...4906</u> 4190
	3.1.2 Сгребание ПБО	р	–	–	–	
	3.1.3 Погрузка ПБО	р	–	–	–	
	3.1.4 Вывозка ПБО	м	УРАЛ NEXT 6x4 (FAW CA3250, MA3-551626-580-050, КамАЗ 65115-50)	3850...4800	4112,5	

Технологии. Машины и оборудование

Окончание табл. 1

1		2	3	4	5	6
ТП 3.2	3.2.1 Срезание НДКР	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + К-1.7 (К-78М, НО-82, БЛ-2, КРТ-1Б)	1517...2720	1944,3	<u>5685...12309</u> 9669,7
	3.2.2 Сгребание ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ЕМ 2200 (ГЛ-3000, ГУ Ингатеx, ЗПИ, ОУЛ-24)	210...2430	1840,6	
	3.2.3 Погрузка ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ПП-2.1 (ПКУ 0.8 КУН, Frontlift)	108...2359	1772,3	
	3.2.4 Вывозка ПБО	м	УРАЛ NEXT 6x4 (FAW CA3250, MA3-551626-580-050, КамАЗ 65115-50)	3850...4800	4112,5	
<i>ТП4 – срезание НДКР с измельчением порубочных остатков и последующей их вывозкой с территории линейного инфраструктурного объекта</i>						
ТП 4.1	4.1.1 Срезание НДКР	р	Husqvarna-254 (STIHL MS260, Oleo-Mac 941CX) и/или STIHL FS490 (STIHL HSE71, Husqvarna 545F) и/или STIHL 1926 (Fiskars X10Small)	42...106	77,5	<u>3618...9274</u> 6023,6
	4.1.2 Сгребание ПБО	р	–	–	–	
	4.1.3 Измельчение ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221)+ЕМ 160 (ЕМ-210, МДР-0.8, В200-Р Торнадо, ВОХЕР ВХ92R, ДП1660Т) и/или ВТГ-90+Skorpion 250R/90 (Belarus-1502+Farmi CH260 DF)	1501...5118	2654,4	
	4.1.4 Вывозка ПБО	м	КАМАЗ 65115 (МАЗ 6501В9-445-000, МАЗ-543205-020 + САТ-105)	2075...4050	3291,7	
ТП 4.2	4.2.1 Срезание НДКР	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + К-1.7 (К-78М, НО-82, БЛ-2, КРТ-1Б)	1517...2720	1944,3	<u>3983...14318</u> 9731
	4.2.2 Сгребание ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221) + ЕМ 2200 (ГЛ-3000, ГУ Ингатеx, ЗПИ, ОУЛ-24)	210...2430	1840,6	
	4.2.3 Измельчение ПБО	м	МТЗ-82 (Belarus-920, Belarus-1221)+ЕМ 160 (ЕМ-210, МДР-0.8, В200-Р Торнадо, ВОХЕР ВХ92R, ДП1660Т) и/или ВТГ-90+Skorpion 250R/90 (Belarus-1502+Farmi CH260 DF)	181...5118	2654,4	
	4.2.4 Вывозка ПБО	м	КАМАЗ 65115 (МАЗ 6501В9-445-000, МАЗ-543205-020 + САТ-105)	2075...4050	3291,7	
<i>ТП5 – измельчение НДКР на корню с оставлением порубочных остатков на поверхности линейного инфраструктурного объекта</i>						
ТП 5.1	5.1.1 Измельчение НДКР	м	МТЗ-82 (Belarus -1221, Belarus -1523, Belarus -2022) + ИЛН-2000 (FERRI TFC/R2000, UM-Forest 140M, W-forrest 1400, FAE UML/DT, Serrat Kastor 350 T-1500, Agrimaster AF 200)	2050...5460	3775,8	<u>2050...5460</u> 3775,8
ТП 5.2	5.2.1 Измельчение НДКР	м	Doosan 225 + SEPPI BMS (KOMATSU PC200 + DENISCIMAF DAH-150E)	7250...9790	8520	<u>7250...9790</u> 8520
ТП 5.3	5.3.1 Измельчение НДКР	м	АНВИ RT-130 (Ferri TSKF/F, PRIME TECH PT175, PRIME TECH PT300)	11500...21800	14775	<u>11500...21800</u> 14775

Условные обозначения: НДКР – нежелательная древесно-кустарниковая растительность;

ПБО – порубочные остатки;

«р» – ручной способ воздействия на НДКР; «м» – механизированный способ воздействия на НДКР.

Источник – собственная разработка авторов

При формировании табл. 1 нами была использована нумерация технологических процессов (ТП1, ТП2, ...), соответствующая предложенной нами группировке существующих технологических процессов (рис. 1), при этом базовые варианты ТП обозначались нами как ТП1.1, ТП2.1, ..., а технологические процессы, являющиеся развитием базового варианта, – как ТП1.2, ТП2.2, ТП2.3,

При указании марок технических средств механизации, приходящихся на одну операцию какого-либо технологического процесса, одна из машин (механизм, оборудование) принималась нами в качестве основной, а остальные машины (механизмы, оборудование) принимались нами в качестве дополнительных (способных заменить собой основную) и записывались при этом в скобках (например, ТП1.2, операция «1.2.1 Срезание НДКР»: МТЗ-82 – основная машина, Belarus-920 и Belarus-1221 – дополнительные машины).

При определении средних капитальных вложений на формирование систем машин нами принималась в расчет цена, указываемая официальными дилерами соответствующих машин, механизмов и оборудования по состоянию на 1.02.2020 г.

Интервал минимальных и максимальных величин капитальных вложений ($K_{TO_{ij}}^{\min} \dots K_{TO_{ij}}^{\max}$), приходящихся на одну j -ю технологическую операцию (ТО) i -го технологического процесса, определялся по формуле (тыс. р.)

$$\begin{cases} K_{TO_{ij}}^{\min} = \sum_{k=1}^n C_k^{\min} \\ K_{TO_{ij}}^{\max} = \sum_{k=1}^n C_k^{\max} \end{cases}, \quad (1)$$

где C_k^{\min} (C_k^{\max}) – минимальная (максимальная) цена требуемого для j -й технологической операции i -го технологического процесса машины, механизма и/или оборудования k -го наименования; n – количество наименований машин, механизмов и/или оборудования, применяемых в j -й технологической операции i -го технологического процесса.

Средняя величина капитальных вложений $K_{TO_{ij}}^{cp}$, приходящихся на одну j -ю технологическую операцию i -го технологического процесса, определялась по формуле (тыс. р.)

$$K_{TO_{ij}}^{cp} = \sum_{k=1}^n \frac{\sum_{p=1}^m C_p}{m}, \quad (2)$$

где C_p – цена требуемого для j -й технологической операции i -го технологического процесса p -й машины, механизма и/или оборудования k -го наименования; m – количество машин, механизмов и/или оборудования k -го наименования.

Интервал минимальных и максимальных величин капитальных вложений ($K_{ТП_i}^{\min} \dots K_{ТП_i}^{\max}$), приходящихся на i -й технологический процесс, определялся по формуле (тыс. р.)

$$\begin{cases} K_{ТП_i}^{\min} = \sum_{j=1}^u K_{TO_{ij}}^{\min} \\ K_{ТП_i}^{\max} = \sum_{j=1}^u K_{TO_{ij}}^{\max} \end{cases}, \quad (3)$$

где u – количество технологических операций в i -м технологическом процессе.

Средняя величина капитальных вложений $K_{ТП_i}^{cp}$, приходящихся на i -й технологический процесс, определялась по формуле (тыс. р.)

$$K_{ТП_i}^{cp} = \sum_{j=1}^u K_{TO_{ij}}^{cp}. \quad (4)$$

Визуализация результатов вычислений интервалов минимальных и максимальных (а также средних) величин капитальных вложений $K_{ТП}$ на формирование систем машин ТП удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности представлена на рис. 2.

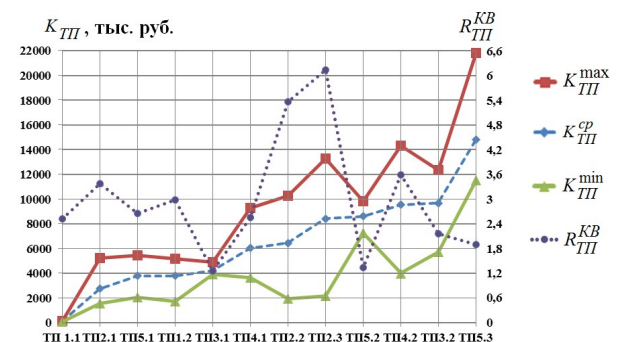


Рис. 2. Визуализация величин капитальных вложений на формирование систем машин технологических процессов удаления НДКР (собственная разработка авторов)

Детальный анализ вышеуказанных результатов вычислений величин капитальных вложений позволяет отметить следующее.

Наименьшие величины капитальных вложений (КВ) ожидаемо наблюдаются для ТП1.1, базовый вариант которого предусматривает срезание/вырубку НДКР с последующим оставлением порубочных остатков на поверхности ЛИО, а развитые варианты – лишь две основные технологические операции (срезание или вырубку нежелательной растительности с её последующим сгребанием), при этом для данного варианта ТП1 по нашим оценкам доля ручного труда доходит до 100 %. Для технологического процесса ТП1.1 нами был определён и размах необходимых для формирования системы машин капитальных вложений (в абсолютных величинах составивший $R'_{ТП}^{KB} = K_{ТП}^{\max} - K_{ТП}^{\min} = 64\,000$ р., что является наименьшим значением среди всех исследованных ТП). Однако при этом следует учесть, что малые средства механизации, применяемые в данном технологическом процессе, могут быть приобретены организациями-исполнителями работ по меньшим (чем было принято нами в расчёте) ценам (так называемые «непрофессиональные» бензопилы и кусторезы китайского производства), что, в свою очередь, приведёт к увеличению размаха капитальных вложений по абсолютной величине.

Наименьшая величина размаха капитальных вложений в относительных величинах ($R_{ТП}^{KB} = K_{ТП}^{\max} / K_{ТП}^{\min} = 1,26$) наблюдается для ТП3.1, базовый вариант которого предусматривает срезание/вырубку НДКР с последующей вывозкой порубочных остатков с территории ЛИО, а развитые варианты – 4 основные технологические операции (срезание или вырубку нежелательной растительности с её последующим сгребанием, погрузкой и вывозкой порубочных остатков). Отдельно следует, на наш взгляд, отметить высокую (доходящую по нашим оценкам до 100 %) долю ручного труда в трёх из четырёх вышеназванных ТО. Учитывая, что для технологического процесса ТП3.1 в целом могут быть применены машины, механизмы и оборудование, аналогичные средства механизации для ТП1.1, определённая нами наименьшая величина

размаха капитальных вложений объясняется достаточно большим выбором при стабильно небольшом размахе цен на применяемые для удаления (вывозки) с территории ЛИО порубочных остатков. Выделим также технологический процесс ТП5, предусматривающий измельчение НДКР на корню с последующим оставлением порубочных остатков на территории ЛИО, вариант которого (ТП5.2) обладает по нашим расчётам величиной размаха относительных капитальных вложений $R_{ТП}^{KB} = 1,35$, что объясняется установленным для данного ТП применением для удаления НДКР многофункциональной машины-экскаватора с варьируемой в относительно небольших пределах ценой.

Ожидаемо наибольшие КВ (при также наибольшем размахе необходимых КВ, составляющих по абсолютной величине $R'_{ТП}^{KB} = 10,3$ млн р.) были выявлены нами для ТП5.3, предусматривающего лишь одну основную технологическую операцию, а именно измельчение на корню нежелательной растительности самоходным (специализированным) мульчером. Однако необходимо учесть, что наименьшая (но не принятая нами в данное исследование) цена нового самоходного мульчера, применяемого в рассматриваемом ТП, отличается от указанной нами в табл. 1 на 5...10 %, а наибольшая цена нового мульчера отличается на 50 % и более, что приводит к величине размаха абсолютных капитальных вложений $R'_{ТП}^{KB} > 20$ млн р.

Наибольшие величины размаха капитальных вложений в относительных величинах ($R_{ТП}^{KB} = 6,14$ и $R_{ТП}^{KB} = 5,38$) наблюдаются для ТП2.2 и ТП2.3, для которых базовый вариант ТП предусматривает срезание/вырубку НДКР с последующим измельчением и оставлением порубочных остатков на территории ЛИО, а развитые варианты – 4 основные технологические операции (срезание или вырубку нежелательной растительности с последующим сгребанием и измельчением порубочных остатков, а в отдельных случаях – с их захоронением). Нам представляется бесспорным, что влияние технологической операции «Измельчение порубочных остатков» (а вернее, необходимости приобретения оборудования для её осуществления) «обеспечива-

ет» наибольшие размахи величин капитальных вложений для целого ряда ТП. Подтверждением этого служит то, что из 5 вариантов технологических процессов с максимальной величиной $R_{ТП}^{KB}$ (ТП2.3, ТП2.2, ТП4.2, ТП2.1, ТП1.2; рис. 2) в четырех из них предусмотрена ТО по измельчению порубочных остатков. В целом средняя цена на оборудование (установки) для измельчения порубочных остатков варьируется в пределах 200...400 тыс. р., которая (с учётом цен на остальные машины и механизмы, задействованные в выполнении вышеозначенных ТП), конечно, не оказывает значительного влияния на величину размаха KB. Однако следует учесть то, что привод вышеозначенных установок нередко осуществляется от трактора, задействованного в предыдущих технологических операциях, что, несомненно, занижает величину капитальных вложений, требуемых при организации работ по измельчению порубочных остатков. В то же время целым рядом реальных технологических процессов удаления НДКР с территории ЛИО обусловлена необходимость применения специализированных (болотоходных, в том числе на гусеничном ходу) тракторов (цены на которые зачастую значительно выше цен на «обычные» лесохозяйственные трактора на пневмоколёсном ходу) в связке с высокопроизводительными и мощными измельчителями срезанной растительности, что, несомненно, способно увеличить требуемые капитальные вложения.

Анализ средних величин капитальных вложений на формирование систем машин технологических процессов удаления НДКР позволяет отметить схожесть ряда ТП по данному критерию. В частности, по нашим оценкам, практически одинаковые величины средних капитальных вложений (нами может быть предложен термин «плато капитальных вложений на формирование систем машин» или сокращённо «плато KB») наблюдаются для вариантов технологических процессов ТП4.1 и ТП2.2 (отличающихся ТО «Вывозка порубочных остатков») и ТП4.2 и ТП3.2 (отличающихся технологической операцией по преобразованию порубочных остатков). При этом большая степень механизации на сгребание срезанной нежелательной растительности для варианта ТП2.2 (и преобразо-

вание срезанной растительности в щепу для варианта ТП4.2) будет менее капиталоемкой лишь при условии использования одной и той же машины на различных технологических операциях. Отдельное внимание следует уделить вариантам технологического процесса ТП5. По нашим оценкам «плато капитальных вложений» наблюдается для вариантов ТП5.1 и ТП1.2 (а также во многом и для ТП2.1), при этом минимальные KB на формирование варианта удаления НДКР измельчением (используя трактор + навесной мульчер) находятся на уровне практически всех принятых в исследование ТП. Аналогичное «плато KB» наблюдается для ТП2.3 и ТП5.2, при этом, несмотря на гораздо более низкие значения минимальных KB на формирование системы машин для ТП2.3 (предусматривающего измельчение и закапывание порубочных остатков), удаление нежелательной растительности при помощи многофункциональных машин с навесным мульчером может оказаться при определённых условиях менее капиталоемким.

С учётом вышеизложенного, для первоочередного рассмотрения вопроса об экономически обоснованном сравнении технологических процессов удаления нежелательной древесно-кустарниковой растительности с территории линейных инфраструктурных объектов с целью выявления возможностей замены одного ТП другим нами производственным предприятиям может быть рекомендован ряд нижеприведённых технологических процессов:

1. «Срезание кустарника и мелколесья (подлеска, поросли) вручную» + «Сгребание порубочных остатков вручную» + «Измельчение порубочных остатков» (ТП2.1); «Измельчение кустарника и мелколесья (подлеска, поросли) на корню механизированным способом трактором с мульчирующей навеской» (ТП5.1); «Срезание кустарника и мелколесья (подлеска, поросли) механизированным способом» + «Сгребание порубочных остатков механизированным способом» (ТП1.2).

2. «Срезание кустарника и мелколесья (подлеска, поросли) вручную» + «Сгребание порубочных остатков вручную» + «Измельчение порубочных остатков» + «Вывозка порубочных остатков» (ТП4.1); «Срезание кустарника и мелколесья (подлеска, поросли) механизированным способом» + «Сгребание порубочных остатков механизирован-

ным способом» + «Измельчение порубочных остатков» (ТП2.2).

3. «Срезание кустарника и мелкокося (подлеска, поросли) механизированным способом» + «Сгребание порубочных остатков механизированным способом» + «Измельчение порубочных остатков» + «Вывозка порубочных остатков» (ТП4.2); «Срезание кустарника и мелкокося (подлеска, поросли) механизированным способом» + «Сгребание порубочных остатков механизированным способом» + «Погрузка порубочных остатков механизированным способом» + «Вывозка порубочных остатков» (ТП3.2).

4. «Срезание кустарника и мелкокося (подлеска, поросли) механизированным способом» + «Сгребание порубочных остатков механизированным способом» + «Измельчение порубочных остатков» + «Захоронение (закапывание) порубочных остатков» (ТП2.3); «Измельчение кустарника и мелкокося (подлеска, поросли) на корню механизированным способом многофункциональной машиной с мульчирующей навеской» (ТП5.2).

Выводы и рекомендации

1. Установлено, что многообразие вариантов технологических процессов удаления НДКР вдоль линейных частей инфраструктурных объектов требует оценки эффективности их применения в конкретных природно-производственных условиях.

2. Определены интервалы и величины средних капитальных вложений на формирование систем машин, механизмов и оборудования для наиболее характерных технологических процессов.

3. Для внедрения в практику оценки эффективности применения технологических процессов в конкретных эксплуатационных условиях предложен термин «плато капитальных вложений на формирование систем машин».

4. Производственным предприятиям показан ряд технологических процессов для первоочередного рассмотрения возможности экономически обоснованного их сравнения.

Библиографический список

1. Антипов, Б. В. Мульчерные технологии в полосе отвода железных дорог / Б. В. Антипов, С. Ю. Маркелов, М. Т. Хайдаров. – Москва : Арсенал, 2013. – 115 с. – ISBN 578-4-271-00176-4.
2. Бартенев, И. М. Механизированный уход в лесных линейных насаждениях на повышенных скоростях / И. М. Бартенев, А. П. Жигунов // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 2 (30). – С. 233–239. – DOI: 10.12737/article_5b24060955e5a8.72125905.
3. Григорьев, И. В. Эффективные технологии и системы машин для малообъемных заготовок древесины / И. В. Григорьев, О. И. Григорьева, А. А. Чураков // Энергия: экономика, техника, экология. – 2018. – № 2. – С. 61–66.
4. Ивашнев, М. В. Теория и практика создания техники для непрерывного срезания древесно-кустарниковой растительности: моногр. / М. В. Ивашнев. – Петрозаводск : Verso, 2015. – 56 с. – ISBN 459-3-261-00119-5.
5. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р : введ. в действие с 01.03.2017 г. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 286 с. – ISBN 7-424-00244-9.
6. Платонов, А. А. Структура формирования технологических процессов удаления нежелательной растительности с эксплуатационных объектов инфраструктуры / А. А. Платонов // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 65–68.
7. Платонов, А. А. Технологические процессы удаления нежелательной растительности различными средствами механизации / А. А. Платонов // Resources and Technology. – 2017. – Т. 14. – № 2. – С. 33–48. – DOI: 10.15393/j2.art.2017.3761.
8. Постановление Правительства РФ от 24 февраля 2009 г. № 160 «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных

в границах таких зон» // ООО «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85368/ (дата обращения: 20.07.2020).

9. Постановление Правительства РФ от 2 сентября 2009 г. № 717 «О нормах отвода земель для размещения автомобильных дорог и (или) объектов дорожного сервиса» // ООО «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91367/ (дата обращения: 20.07.2020).

10. Правила эксплуатации магистральных газопроводов: СТО Газпром 2-3.5-454-2010 : утв. распоряжением ОАО «Газпром» от 24 мая 2010 г. № 130 : введ. в действие с 24.05.2010. – Москва : Газпром, 2010. – 164 с. – ISBN 348-4-207028-19-5.

11. Apattsev, V. Upgrading technological processes of operating the railway infrastructure facilities / V. Apattsev, V. Aksenov, A. Zavyalov // MATEC Web of Conferences 2018. – P. 04010. – DOI: 10.1051/mateconf/201823904010.

12. Chudy, R. P. Effects on forest products markets of second-generation biofuel production based on biomass from boreal forests: a case study from Norway / R. P. Chudy, H. K. Sjølie, B. Solberg // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2019. – № 34 (3). – P. 218–227. – DOI: 10.1080/02827581.2019.1578403.

13. Gerasimov, Y. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions / Y. Gerasimov, S. Senko, T. Karjalainen // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2013. – Vol. 28. – №. 8. – P. 758–774. – DOI: 10.1080/02827581.2013.838299.

14. Matthies, M. Role of vegetation on the overall persistence and long-range transport potential / M. Matthies, A. Beyer // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. – 2003. – Vol. 17. – № 4. – P. 252–255. – DOI: 10.1007/s00477-003-0141-9.

15. Popa, M. On transport network reliability / M. Popa, E. Rosca, F.V. Ruscă // Transport Problems. – 2012. – Vol. 7. – № 3. – P. 127–134.

References

1. Antipov B.V., Markelov S.Yu., Khaidarov M.T. *Mul'chernyye tekhnologii v polose otvoda zheleznikh dorog* [Mulcher technologies in the railway right-of-way]. Moscow, 2013, 115 p. (in Russian). ISBN 578-4-271-00176-4.

2. Bartenev I.M., Zhigunov A.P. (2018) *Mekhanizirovannyi ukhod v lesnykh lineynykh nasazhdeniyakh na povyshennykh skorostyakh* [Mechanized care in linear forest plantations at high speeds]. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forest Engineering Journal], vol. 8, no. 2 (30), pp. 233-239 (in Russian). DOI: 10.12737/article_5b24060955e5a8.72125905.

3. Grigoriev I.V., Grigorieva O.I., Churakov A.A. (2018) *Effektivnyye tekhnologii i sistemy mashin dlya maloob'yomnykh zagotovok drevesiny* [Effective technologies and systems of machines for small-volume timber harvesting]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology], no. 2, pp. 61-66 (in Russian).

4. Ivashnev M.V. *Teoriya i praktika sozdaniya tekhniki dlya nepreryvnogo srezaniya drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti: monografiya* [Theory and practice of creating a technique for continuous cutting of tree and shrub vegetation: monograph]. Petrozavodsk, 2015, 56 p. (in Russian). ISBN 459-3-261-00119-5.

5. *Instruktsiya po tekushchemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti: utverzhdeno rasporyazheniyem OAO «RZHD» ot 14 noyabrya 2016 g. № 2288r: vvod v deystviye s 01.03.2017 g.* [Instructions on the current maintenance of the railway track: approved. by order of JSC «Russian Railways» dated November 14, 2016 no. 2288r: entry into force from March 1, 2017]. Moscow, 2019, 286 p. (in Russian). ISBN 7-424-00244-9.

6. Platonov A.A. (2020) *Struktura formirovaniya tekhnologicheskikh protsessov udaleniya nezhelatel'noy rastitel'nosti s ekspluatatsionnykh ob'yektov infrastruktury* [The structure of the formation of technological processes for the removal of unwanted vegetation from operational infrastructure facilities]. *Polzunovskiy al'manakh* [Polzunovsky Almanac], no. 1, pp. 65-68 (in Russian).

7. Platonov A.A. (2017) *Tekhnologicheskiye protsessy udaleniya nezhelatel'noy rastitel'nosti razlichnymi sredstvami mekhanizatsii* [Technological processes for removing unwanted vegetation by various means of mechanization]. *Resources and Technology*, vol. 14, no. 2, pp. 33-48 (in Russian). DOI: 10.15393/j2.art.2017.3761.

8. *Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 24 fevralya 2009 g. № 160 «O poryadke ustanovleniya okhrannykh zon ob"yektov elektrosetevogo khozyaystva i osobykh usloviy ispol'zovaniya zemel'nykh uchastkov, raspolozhennykh v granitsakh takikh zon»* [Decree of the Government of the Russian Federation of February 24, 2009 no. 160 «On the procedure for establishing protective zones for power grid facilities and special conditions for the use of land plots located within such zones»]. *ConsultantPlus LLC*. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_85368 (date of access: 20.07.2020) (in Russian).

9. *Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 2 sentyabrya 2009 g. № 717 «O normakh otvoda zemel' dlya razmeshcheniya avtomobil'nykh dorog i (ili) ob"yektov dorozhnogo servisa»* [Decree of the Government of the Russian Federation of September 2, 2009 no. 717 «On the norms of land allotment for the placement of highways and (or) road service facilities»]. *ConsultantPlus LLC*. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91367 (date of access: 20.07.2020) (in Russian).

10. *Pravila ekspluatatsii magistral'nykh gazoprovodov: STO Gazprom 2-3.5-454-2010: utv. rasporyazheniyem OAO «Gazprom» ot 24 maya 2010 g. № 130: vvod v deystviye s 24.05.2010* [Rules for the operation of main gas pipelines: STO Gazprom 2-3.5-454-2010: approved. By order of JSC Gazprom dated May 24, 2010 no. 130: effective from May 24, 2010]. Moscow, 2010, 164 p. (in Russian). ISBN 348-4-207028-19-5.

11. Apattsev V., Aksenov V., Zavyalov A. (2018) Upgrading technological processes of operating the railway infrastructure facilities. *MATEC Web of Conferences*, p. 04010. DOI: 10.1051/mateconf/201823904010.

12. Chudy R.P., Sjolie H.K., Solberg B. (2019) Effects on forest products markets of second-generation biofuel production based on biomass from boreal forests: a case study from Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, no. 34(3), pp. 218-227. DOI: 10.1080/02827581.2019.1578403.

13. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. (2013) Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, vol. 28, no. 8, pp. 758-774. DOI: 10.1080/02827581.2013.838299.

14. Matthies M., Beyer A. (2003) Role of vegetation on the overall persistence and long-range transport potential. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 17, no. 4, pp. 252-255. DOI: 10.1007/s00477-003-0141-9.

15. Popa M., Rosca E., Ruscă F.V. (2012) On transport network reliability. *Transport Problems*, vol. 7, no. 3, pp. 127-134.

Сведения об авторах

Платонов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры тягового подвижного состава ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация; e-mail: paa7@rambler.ru.

Терновская Ольга Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: olgaternovskay@yandex.ru.

Information about authors

Platonov Aleksey Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Traction Rolling Stock, FSBEI HE "Rostov State Transport University", Rostov-on-Don, Russian Federation; e-mail: paa7@rambler.ru.

Ternovskaya Olga Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Engineering and Computer Graphics, FSBEI HE "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation; e-mail: olgaternovskay@yandex.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХФАКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПОДВЕСКИ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

доктор технических наук, профессор **В.И. Посметьев**

кандидат технических наук, доцент **В.О. Никонов**

доктор технических наук, доцент **В.А. Зеликов**

кандидат физико-математических наук, доцент **В.В. Посметьев**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Обоснована необходимость снижения расходов на вывозку лесоматериалов лесовозным автомобильным транспортом для повышения эффективности лесозаготовок в РФ. Выявлены недостатки, имеющиеся у лесовозного автомобильного транспорта, оснащенного традиционными конструкциями подвесок, проявляющиеся при вывозке ими лесоматериалов по лесовозным дорогам низкого качества. Описано перспективное направление для повышения эксплуатационных свойств лесовозного автомобильного транспорта, применяемого для вывозки лесоматериалов, заключающееся в разработке эффективных конструктивных схем подвесок для лесовозного автомобильного транспорта с оптимальными параметрами поддресоривания. Рассмотрены научные работы зарубежных ученых в данном направлении. Разработана с учетом выявленных недостатков перспективная схема гидропневматической подвески модульного типа для лесовозного автомобильного транспорта, позволяющая рекуперировать энергию рабочей жидкости при движении лесовозного автомобильного транспорта по лесовозным дорогам низкого качества, компенсировать утечки рабочей жидкости, а также дистанционно из кабины водителя лесовозного автомобильного транспорта управлять величиной дорожного просвета. Выполнена двухфакторная оптимизация, позволяющая выявить благоприятные комбинации двух исследуемых факторов. Получены графики влияния диаметра пневмоцилиндра и коэффициента теплоотдачи на максимальное вертикальное ускорение поддресоренной массы, а также на максимальное давление газа в пневмоцилиндре и амплитуду изменения температуры. Представлены картограммы оптимизации конструктивных параметров перспективной гидропневматической подвески.

Ключевые слова: лесовозный автомобильный транспорт, двухфакторная оптимизация, гидропневматическая подвеска, вывозка лесоматериалов

TWO-FACTOR PARAMETER OPTIMIZATION OF PROMISING MODULAR HYDROPNEUMATIC SUSPENSION FOR LOGGING ROAD TRANSPORT

DSc (Engineering), Professor **V.I. Posmetyev**

PhD (Engineering), Associate Professor **V.O. Nikonov**

DSc (Engineering), Associate Professor **V.A. Zelikov**

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **V.V. Posmetyev**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",

Voronezh, Russian Federation

Abstract

The necessity to reduce the cost of timber haulage by logging road transport to increase the efficiency of logging in the Russian Federation has been substantiated. The drawbacks of the timber road transport equipped with traditional suspension systems, which are manifested when they transport timber along low quality logging roads, have been revealed. A promising direction for improving the operational properties of timber road transport used for hauling timber is described. It consists in the development of effective design schemes for suspensions for timber road transport with optimal suspension parameters. The scientific works of foreign scientists in this direction has been considered. Taking into account the identified shortcomings, a promising scheme of modular hydropneumatic suspension for timber road transport has been developed, which makes it possible to recuperate the energy of the working fluid when moving on the roads of low quality, compensate for leaks of working fluid, and also control the ground clearance from the driver's cab remotely. Two-factor optimization has been carried out, which allows identifying favorable combinations of the two factors under study. The graphs of the influence of the pneumatic cylinder diameter heat transfer coefficient on the maximum vertical acceleration of the sprung mass, as well as on the maximum gas pressure in the pneumatic cylinder and the amplitude of the temperature change have been obtained. The cartograms of optimization of the design parameters for perspective hydropneumatic suspension have been presented.

Keywords: logging transport, two-factor optimization, hydropneumatic suspension, timber hauling

Введение

Наша страна обладает значительными запасами лесных ресурсов, общая доля которых составляет около четвертой части всех ресурсов, сосредоточенных на планете. Важным технологическим звеном процесса лесозаготовок, на которое приходится наибольшая энергоемкость, является процесс вывозки лесоматериалов с лесосеки до потребителя лесовозными автомобилями (ЛА), выполняемый по существующим лесовозным дорогам. Удельный вес доли расходов, затрачиваемых на вывозку лесоматериалов ЛА, от суммарных затрат, расходуемых на обеспечение функционирования лесного хозяйства, составляет по разным оценкам 30-35 %. Издержки ЛА отрицательно отражаются на конечной себестоимости продукции и экономических результатах деятельности лесозаготовительных предприятий. Поэтому снижение расходов на вывозку лесоматериалов ЛА является важным резервом повышения эффективности лесозаготовок в РФ.

Эксплуатируемый в настоящее время на вывозке лесоматериалов лесовозный автомобильный транспорт удовлетворяет почти всем предъявляемым к нему потребителями требованиям. Несмотря на это, вывозка лесоматериалов лесовозным автомобильным транспортом, оснащенным традиционными конструкциями зависимых подвесок, в условиях лесовозных дорог низкого качества приводит к существенному ухудшению их эксплуатационных свойств, проявляющихся в следующем:

– в ограниченных значениях дорожного просвета и углов поворота управляемых колес ЛА; в снижении надежности, проходимости ЛА в сложных дорожных условиях за счет контакта выступающих узлов ЛА с лесовозной дорогой; в невозможности использования подрамного пространства, располагающегося между колесами ЛА;

– в значительной высоте центра тяжести ЛА, приводящей к ухудшению поперечной устойчивости загруженного ЛА; в отсутствии механизмов,

позволяющих регулировать высоту дорожного просвета ЛА; в невозможности использования подвесок, выполняемых в виде колесных модулей, из-за больших габаритных размеров и сложности конструктивного исполнения;

– отсутствие функциональной возможности вывешивания колес ЛА при его движении в порожнем состоянии; неспособность обеспечить индивидуальный поворот каждого из колес ЛА.

Повышение эксплуатационных свойств подвески играет особенно определяющее значение для ЛА, применяемого для вывозки лесоматериалов в РФ. Точность расчета конструктивных параметров поддрессорования, а также подбор оптимально подходящей для ЛА конструкции подвески дает возможность уменьшить количество денежных средств, расходуемых на вывозку лесоматериалов [1].

Demyanov D. N., Karabtsev V. S. и Malinov A. I. (2019) в своих исследованиях с целью повышения эффективности функционирования автомобиля с колесной формулой 8×8 разработали алгоритмы управления его гидропневматической подвеской в среде Simulink. Выполненная ими двухэтапная проверка позволила выявить, что работа полученных алгоритмов удовлетворяет всем предъявляемым к ним требованиям, опускание и подъем рамы автомобиля в процессе преодоления неровностей дороги выполняется равномерно, с низким коэффициентом погрешности [3].

Yesilyrt N. Y. и Akalin O. (2018) в своей работе акцентируют внимание на моделировании системы гидропневматической подвески при движении 10-тонного автомобиля по дорожным неровностям. Авторами были скорректированы параметры гидропневматической подвески с учетом коэффициента демпфирования кузова автомобиля. Выявлено, что предельная величина амплитуды вертикального перемещения сиденья водителя может быть нарушена в случае совпадения крейсерской скорости и колесной базы автомобиля с собственной частотой кузова автомобиля на низших скоростях. Также определено, что увеличение средней скорости автомобиля по неровной поверхности приводит к повышению амплитуды вертикального ускорения сиденья водителя [4].

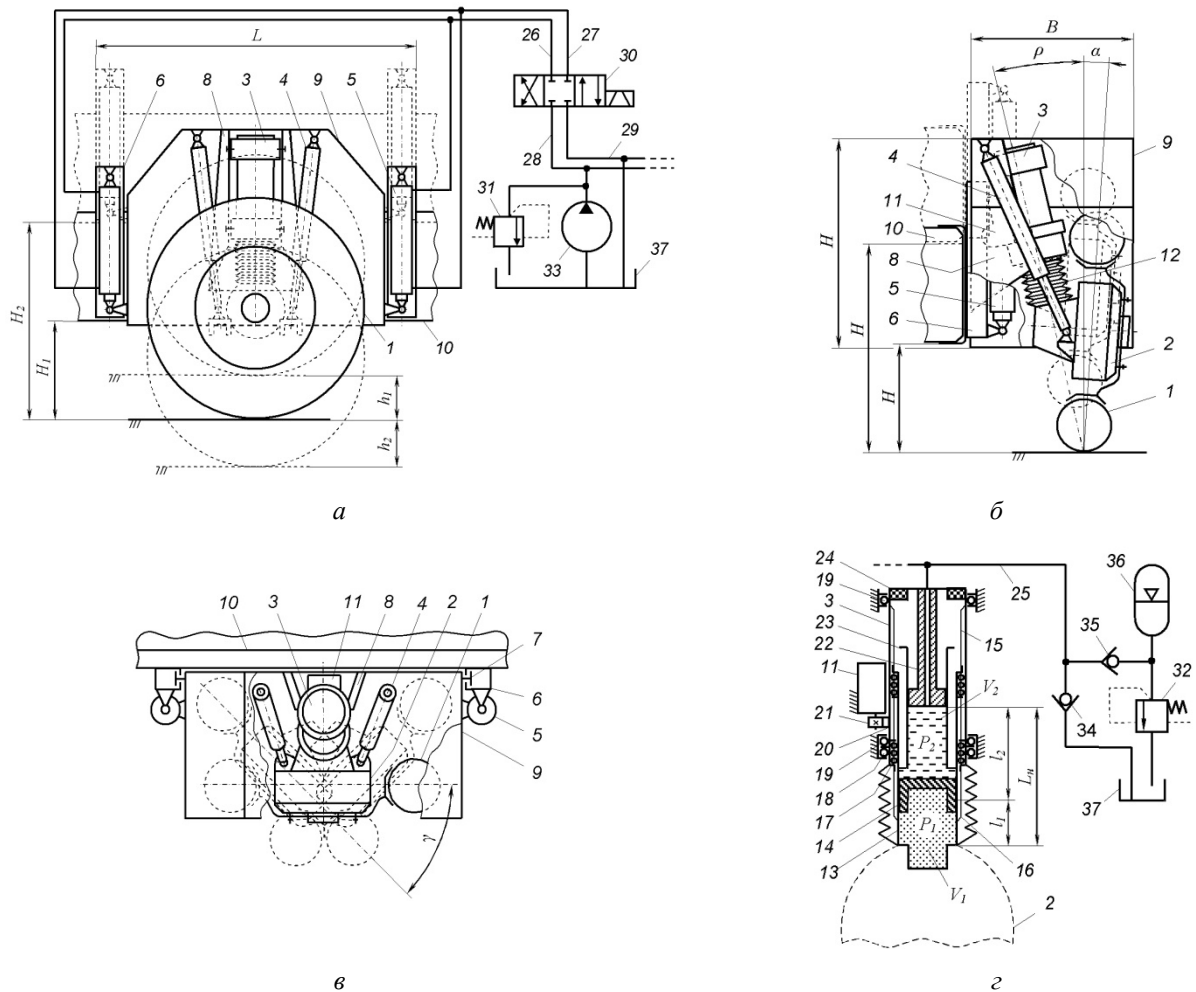
В статье Lin D., Yang F. и др. (2020) рассмотрены динамические свойства компактной гидропневматической амортизационной стойки авто-

мобиля, разработана методика комплексного эксперимента для исследования зависимостей силы трения от рабочего давления в стойке, силы смещения и давления, получена математическая модель амортизационной стойки, включающая процесс политропного газа, нелинейную и гистерезисную силу трения, а также турбулентные потоки через отверстия поршня. Выявлено, что разработанная математическая модель может с высокой точностью выполнять прогнозирование характеристик амортизационной стойки в динамике [5].

В работе Konieczny L. и др. (2016) выполнен анализ конструктивных решений и материалов, применяемых в газовых пружинах гидропневматических подвесок автомобилей. Авторами выявлены основные преимущества использования таких подвесок в легковых автомобилях, ими приведены фундаментальные зависимости, определяющие характеристики газовой пружины, а также описаны свойства материалов, используемых для производства деталей гидропневматической подвески с газовой пружиной [6].

В научной статье Yin Y., Rakheja S. и др. (2020) приведены результаты исследования зависящих от температуры и частоты демпфирующих свойств компактной гидропневматической амортизационной стойки. Разработана математическая модель, результаты расчета которой при различных температурах стойки и частотах возбуждения показали высокую сходимость с экспериментальными данными [7].

Ibrahim A. Badway и др. (2017) в своих исследованиях изучили рабочие характеристики и потенциал гидропневматической подвески, используемой в транспортном средстве, перемещающемся по дороге с неровностями. Разработанные для исследования математическая модель, а также испытательный стенд позволили выявить, что гидропневматическая подвеска обеспечивает комфорт и эффективное демпфирование при движении транспортного средства по дороге с неровностями [8].



а, б, в – кинематическая схема гидропневматической подвески, ее виды сбоку, сзади и сверху;

г – гидравлическая схема; 1 – колесо; 2 – гидравлический двигатель; 3 – пневмогидравлический цилиндр; 4 – амортизаторы; 5 – гидроцилиндры; 6 – ползуны; 7 – направляющие; 8 – кронштейны; 9 – рама модуля; 10 – рама автомобиля; 11 – шаговый гидродвигатель; 12 – гофрированный защитный кожух; 13 – подвижный пневмоцилиндр; 14 – поршень; 15 – внутренние шлицы; 16 – внешние шлицы; 17 – шарики; 18 – радиальные подшипники; 19 – упорный шарикоподшипник; 20 – зубчатый сектор; 21 – шестерня; 22 – верхний конец штока; 23 – гидроцилиндр; 24 – буфер сжатия; 25-29 – трубопроводы; 30 – гидрораспределитель; 31, 32 – предохранительные клапаны; 33 – гидронасос; 34, 35 – обратные гидравлические клапаны; 36 – пневмогидравлический аккумулятор; 37 – гидробак

Рис. 1. Схема гидропневматической подвески модульного типа для ЛА (собственные разработки)

Выполненный анализ существующих работ показал, что в настоящий период времени отсутствуют конструкции гидропневматических подвесок модульного типа для ЛА, обеспечивающие рекуперацию гидравлической энергии при преодолении неровностей и препятствий лесовозной дороги, компенсацию утечек рабочей жидкости, а также дистанционное управление из кабины ЛА величиной дорожного просвета. С целью устранения рассмотренных выше недостатков существующих

конструкций подвесок авторами была предложена перспективная схема модульной гидропневматической подвески для ЛА (рис. 1) [2].

Материалы и методы

Для поиска наилучших параметров предлагаемой конструкции гидропневматической подвески модульного типа необходимо выполнить двухфакторную оптимизацию, позволяющую исследовать одновременное влияние двух параметров на показатели эффективности, а также выявить благоприятные

комбинации двух факторов, которые не могут быть явно определены в результате исследования соответствующих однофакторных зависимостей [9-12].

Для проведения исследования использовалась ранее разработанная математическая модель движения лесовозного автомобиля, оснащенного гидропневматической подвеской [1]. Из большого количества конструктивных параметров гидропневматической подвески ЛА выбраны два параметра, наиболее существенно влияющие на эффективность: диаметр пневматического цилиндра D и коэффициент теплоотдачи $k_{то}$.

В качестве показателей эффективности гидропневматической подвески ЛА выбраны: максимальное вертикальное ускорение a_{zm} поддресоренной массы, максимальное давление P_m в пневмоцилиндре, максимальная амплитуда ΔT_m колебаний температуры газа в пневмоцилиндре. Под максимальными понимаются максимальные значения показателей при движении исследуемой механической системы по участку случайной неровной поверхности длиной 60 м на протяжении 20 с горизонтальной скоростью 3 м/с.

В этом случае задачу оптимизации конструктивных параметров можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} a_{zm}(D, k_{то}) \rightarrow \min; \\ P_m(D, k_{то}) \rightarrow \min; \\ \Delta T_m(D, k_{то}) \rightarrow \min; \end{cases} \Rightarrow D^{opt}, k_{то}^{opt}. \quad (1)$$

Для решения такой задачи оптимизации выполняется поиск такого интервала изменения исследуемых факторов D и $k_{то}$, в котором одновременно будут минимальными вертикальное ускорение a_{zm} , давление P_m и амплитуда колебания температуры ΔT_m газа в пневмоцилиндре.

Для решения двухфакторной задачи оптимизации провели девять компьютерных экспериментов, в которых изменяли диаметр пневмоцилиндра D на уровнях 0,2, 0,3, 0,4 м при одновременном изменении коэффициента теплоотдачи $k_{то}$ на уровнях 0, 1, 2 с⁻¹. Исходя из физического смысла коэффициента теплоотдачи, расширенной единицей измерения является К/(с·К), то есть на сколько градусов Кельвина изменяется температура газа в пневмоцилиндре за одну секунду при разнице температур газа и окружающей среды в один градус Кельвина.

На основе набора данных, полученного в результате проведения девяти оптимизационных компьютерных экспериментов, получены аналитические формулы для функций $a_{zm}(D, k_{то})$, $P_m(D, k_{то})$ и $\Delta T_m(D, k_{то})$. Данные формулы имеют высокую практическую ценность на этапе конструирования гидропневматической подвески ЛА, так как позволяют оценить ее показатели эффективности, не используя длительных компьютерных расчетов. С целью нахождения аналитических зависимостей функции $a_{zm}(D, k_{то})$, $P_m(D, k_{то})$ и $\Delta T_m(D, k_{то})$ выполнили аппроксимацию полиномов второго порядка

$$K(D, k_{то}) = k_1 D^2 + k_2 k_{то}^2 + k_3 D \cdot k_{то} + k_4 D + k_5 k_{то} + k_6, \quad (2)$$

где K – искомый критерий оптимизации; $k_1 \dots k_6$ – значения параметров полинома.

Для нахождения значений параметров полиномов использовался метод наименьших квадратов. Данный метод позволяет минимизировать сумму квадратов возможных отклонений аналитической зависимости от полученных результатов компьютерного моделирования:

$$\sum_{i=1}^{N_{КЭ}} (K_{аналит.}(D^i, k_{то}^i) - K_{КЭ}^i(D^i, k_{то}^i))^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $N_{КЭ}$ – общее количество проводимых в программе компьютерных экспериментов; i – номер проводимого в программе компьютерного эксперимента; $K_{аналит.}$ – полиномиальная зависимость влияния на критерий K факторов D и $k_{то}$; $K_{КЭ}^i$ – рассчитанное в программе в i -м компьютерном эксперименте с параметрами D^i и $k_{то}^i$ значение критерия K .

Выполнение аппроксимации методом наименьших квадратов осуществлялось в программе для инженерных расчетов MathCAD 14. Использование этой программы дало возможность выявить такие аналитические зависимости, которые позволяют определять значения показателей эффективности гидропневматической подвески ЛА:

$$a_{zm}(D, k_{то}) = 0,052 k_{то}^2 - 0,273 k_{то} + 3,15; \quad (4)$$

$$P_m(D, k_{то}) = 210,7D^2 + 0,057 \cdot 10^{-3} k_{то}^2 + 1,10D \cdot k_{то} - 171,3D - 0,620 k_{то} + 37,80; \quad (5)$$

$$\Delta T_m(D, k_{то}) = 1,00 k_{то}^2 - 11,60 k_{то} + 179,4; \quad (6)$$

где D – диаметр пневматического цилиндра, м; $k_{то}$ – коэффициент теплоотдачи, с⁻¹; a_{zm} – минимальное вертикальное ускорение, м/с²;

P_m – давление, МПа; ΔT_m – амплитуда колебаний температуры, К.

Результаты и обсуждение

Выявленные зависимости позволяют с высокой скоростью выполнить оценку показателей эффективности гидропневматической подвески ЛА. Для дальнейшего анализа функции $a_{zm}(D, k_{то})$, $P_m(D, k_{то})$ и $\Delta T_m(D, k_{то})$ приведены в виде графиков (рис. 2) и картограмм (рис. 3).

Построенные графики дают возможность визуально оценить характер влияния диаметра пневмоцилиндра и коэффициента теплоотдачи на показатели эффективности гидропневматической подвески ЛА. В частности, обнаружено, что диаметр пневмоцилиндра практически не влияет на a_{zm} и ΔT_m (рис. 2, а, в), а коэффициент теплоотдачи практически не влияет на P_m (рис. 2, б).

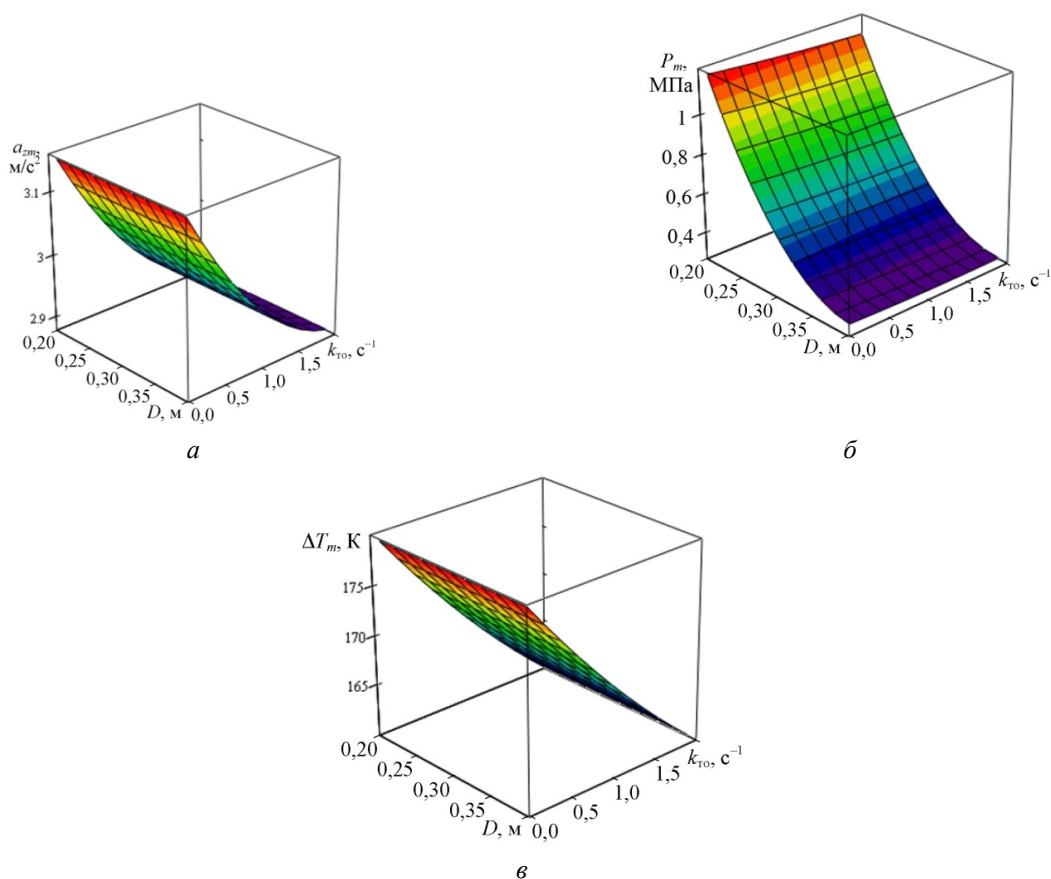


Рис. 2. Графики влияния диаметра пневмоцилиндра D и коэффициента теплоотдачи $k_{то}$ на максимальное вертикальное ускорение подвешенной массы a_{zm} (а), максимальное давление газа в пневмоцилиндре P_m (б) и амплитуду изменения температуры ΔT_m (в) (собственные разработки)

Графики (рис. 2) позволяют понять качественный уровень полученных закономерностей, с целью понимания количественного уровня выявленных закономерностей графики были преобразованы в картограммы, которые являются видом сверху на графики, а также имеют обозначенные поверхности отклика линиями уровня (рис. 3).

Если диаметр пневмоцилиндра составляет 0,30 м (точка *A*) и коэффициент теплоотдачи – $1,0 \text{ с}^{-1}$ (точка *B*), то точка *C*, являющаяся точкой факторного пространства, будет располагаться ближе к линии уровня 2,95. Таким образом, максимальное вертикальное ускорение составит около $2,97 \text{ м/с}^2$.

На картограммах затемнены области благоприятных (в данном случае минимальных) значений показателей. В результате выполнения разделения на неблагоприятные и благоприятные области пороговые значения показателей эффективности составили: $a_{zm} = 3,00 \text{ м/с}^2$ (рис. 3, *a*), $P_m = 0,5 \text{ МПа}$ (рис. 3, *б*), $\Delta T_m = 170 \text{ К}$ (рис. 3, *в*), исходя из условий, что благоприятная область будет занимать значительную долю факторного пространства, включать искомые наименьшие значения критерия и граница области будет представлять собой линию уровня на картограмме.

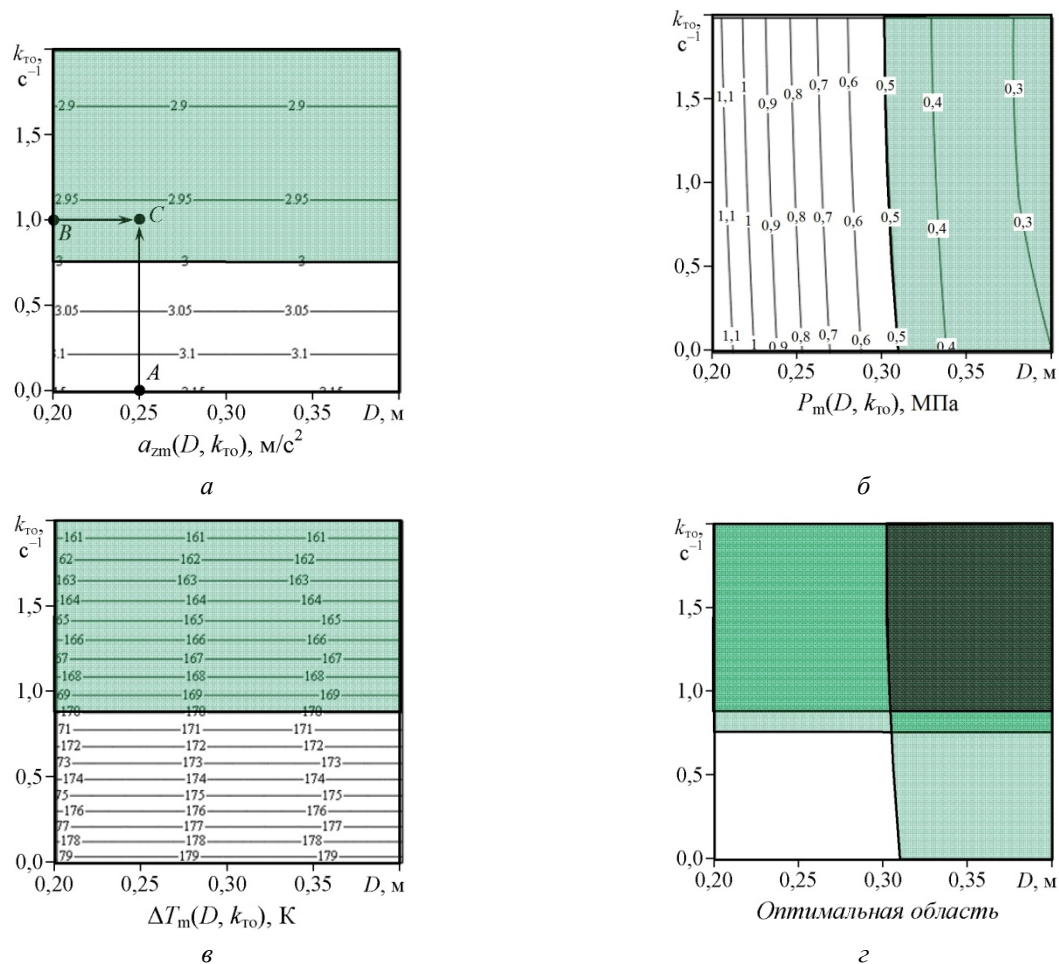


Рис. 3. Картограммы оптимизации конструктивных параметров гидропневматической подвески
Затемнены благоприятные области факторного пространства
(собственные разработки)

Оптимальная область (рис. 3, з), образуемая в результате пересечения благоприятных областей, позволяет одновременно учитывать требования минимума показателей эффективности.

Выводы

На основе анализа существующих работ в области подвесок транспортных средств предложена перспективная конструкция модульной гидропневматической подвески для ЛА, позволяющая устранить основные недостатки традиционных конструкций подвесок, а также рекуперировать энергию рабочей жидкости при движении ЛА по лесовозным дорогам низкого качества, компенсировать утечки рабочей жидкости, а также дистан-

ционно из кабины водителя ЛА управлять величиной дорожного просвета.

Для оптимизации параметров гидропневматической подвески ЛА в работе была применена двухфакторная оптимизация с анализом наглядных картограмм. В результате двухфакторной оптимизации гидропневматической подвески ЛА обнаружено, что оптимальный диаметр пневмоцилиндра составляет 0,31 ... 0,40 м, оптимальный коэффициент теплоотдачи – 0,9 ... 2,0 с⁻¹. При этом максимальное вертикальное ускорение составит не более 3 м/с², максимальное давление газа в пневмоцилиндре составит не более 0,5 МПа, максимальная амплитуда колебаний температуры составит не более 170 К.

Библиографический список

1. Оценка эффективности гидропневматической подвески лесовозного автомобиля по результатам имитационного моделирования / В. И. Посметьев, М. В. Драпалюк, В. О. Никонов [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2020. – № 2. – С. 218–232.
2. Состояние и перспективы совершенствования конструкций гидропневматических подвесок колесных машин / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, Д. Л. Свиридов, В. О. Бородкин // Воронежский научно-технический вестник. – 2019. – Т. 2. – № 2 (28). – С. 19–37.
3. Demyanov, D. N. Clearance control of vehicle with hydropneumatic suspension and the wheel formula 8×8 / D. N. Demyanov, V. S. Karabtsev, A. I. Malinov // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering 489. – 2019. – P. 012053. – DOI 10.1088/1757-899X/489/1/012053.
4. Yesilyrt, H. Y. Ride dynamics of an off road vehicle with hydropneumatic suspension system / H. Y. Yesilyrt, O. Akalin // 9th International Automotive Technologies Congress OTEKJN. – 2018, Bursa.
5. Design and experimental modeling of a compact hydro-pneumatic suspension strut / D. Lin, F. Yang, D. Gong, S. Rakheja // Nonlinear Dyn. – 2020. – 10 p. – DOI: 10.1007/s11-71-020-05714-3.
6. Konieczny, L. Analysis of structural and material aspects of selected elements of a hydropneumatic suspension system in a passenger car / L. Konieczny, R. Burdzic, T. Wegrzyn // Arch. Metall. Mater. – 2016. – Vol. 61. – № 1. – P. 79–84. – DOI 10.1515/AMM-2016-0018.
7. Hydraulic damping nonlinearity of a compact hydro-pneumatic suspension considering gas/oil emulsion / Y. Yin, S. Rakheja, J. Yong, A. Lozano-Guzman // Vibroengineering PROCEDIA. – 2020. – Vol. 30. – P. 68–71. – DOI: 10.21595/vp.2019.20715.
8. Badway, I. A. Simulation and control of a hydrohneumatic suspension system / I. A. Badway, M. I. Sokar, S. A. Raboo // International Journal of Scientific Engineering Research. – 2017. – Vol. 8. – Iss. 9. – P. 930–935.
9. Федоров, В. В. Теория оптимального эксперимента. – Москва : ГРФМЛ изд-ва Наука, 1971. – 312 с.
10. Грановский, В. А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях : учеб. пособие / В. А. Грановский, Т. Н. Сирая. – Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 288 с. – Библиогр.: с. 284–286. – ISBN 5-283-04480-7.
11. Горский, В. Г. Планирование промышленных экспериментов (модели динамики) : учеб. пособие / В. Г. Горский, Ю. П. Адлер, А. М. Талалай. – Москва : Металлургия, 1978. – 112 с. – Библиогр.: с. 105–110.
12. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений : учеб. пособие / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 279 с.

References

1. Posmetev V.I., Drapalyuk M.V., Nikonov V.O., Posmetev V.V., Avdyuhin A.V. (2020) *Ocenka effektivnosti gidropnevmaticheskoi podveski lesovoznogo avtomobilya po rezul'tatam imitacionnogo modelirovaniya* [Evaluation of the effectiveness of hydropneumatic suspension of a timber truck based on the results of simulation]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 10, № 2, pp. 218-232 (in Russian).
2. Nikonov V.O., Posmetev V.I., Sviridov D.L., Borodkin V.O. (2019) *Sostoyanie i perspektivi sovershenstvovaniya konstrukcii gidropnevmaticheskikh podvesok kolesnih mashin* [Status and prospects for improving the design of hydropneumatic suspensions of wheeled vehicles]. *Voronezhskii nauchno-tehnicheskii vestnik* [Voronezh Scientific and Technical Bulletin], Vol. 2, № 2 (28), pp. 19-37 (in Russian).
3. Demyanov D.N., Karabtsev V.S., Malinov A.I. (2019) Clearance control of vehicle with hydropneumatic suspension and the wheel formula 8×8. *Materials Science and Engineering* 489: 012053. DOI: 10.1088/1757-899X/489/1/012053.
4. Yesilyrt H.Y., Akalin O. (2018) Ride dynamics of an off road vehicle with hydropneumatic suspension system. *9th International Automotive Technologies Congress OTEKJN*, 2018, Bursa.
5. Lin D., Yang F., Gong D., Rakheja S. (2020) Design and experimental modeling of a compact hydro-pneumatic suspension strut. *Nonlinear Dyn*, doi: 10.1007/s11-71-020-05714-3.
6. Konieczny L., Burdzic R., Wegrzyn T. (2016) Analysis of structural and material aspects of selected elements of a hydropneumatic suspension system in a passenger car. *Arch. Metall. Mater.*, Vol. 61, № 1, pp. 79-84. DOI: 10.1515/AMM-2016-0018.
7. Yin Y., Rakheja S., Yong, J. Lozano-Guzman A. (2020) Hydraulic damping nonlinearity of a compact hydro-pneumatic suspension considering gas-oil emulsion. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 30, pp. 68-71. DOI: 10.21595/vp.2019.20715.
8. Badway I.A., Sokar M.I., Raboo S.A. (2017) Simulation and control of a hydrohneumatic suspension system. *International Journal of Scientific Engineering Research*, Vol. 8, Iss. 9, September, pp. 930-935.
9. Fedorov V.V. *Teoriya optimalnogo eksperimenta* [Optimal experiment theory]. Moscow: GRFML Publishing House Nauka, 1971, 312 p. (in Russian).
10. Granovskii V.A., Siraya T.N. *Metodi obrabotki eksperimentalnih dannih pri izmereniyah* [Methods for processing experimental data in measurements]. Leningrad: Energoatomizdat. Leningr. Otd-nie, 1990, 288 p. (in Russian).
11. Gorskii V.G., Adler Yu.P., Talalai A.M. *Planirovanie promishlennih eksperimentov (modeli dinamiki)* [Planning of industrial experiments (dynamics models)]. Moscow: Metallurgy, 1978, 112 p. (in Russian).
12. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskii Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnih reshenii* [Planning an experiment when searching for optimal solutions]. Moscow: Nauka [Science], 1976, 279 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Посметьев Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: posmetuev@mail.ru.

Никонов Вадим Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Зеликов Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

Посметьев Виктор Валерьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный

лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: victorvpo@mail.ru.

Information about authors

Posmetyev Valery Ivanovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Production, Repair and Operation of Cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: posmetyev@mail.ru.

Nikonov Vadim Olegovich – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Production, Repair and Operation of Cars, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: 8888nike8888@mail.ru.

Zelikov Vladimir Anatolyevich – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Organization of Transportation and Traffic Safety, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: zelikov-vrn@mail.ru.

Posmetyev Viktor Valeryevich – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: victorvpo@mail.ru.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ POT-IN-POT
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ**

кандидат экономических наук **Е.А. Панявина**

доктор экономических наук, профессор **С.С. Морковина**

кандидат сельскохозяйственных наук **А.Н. Цепляев**

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

Переход к альтернативным технологиям выращивания лесопосадочного материала определен существенными климатическими изменениями и растущим спросом на устойчивые к неблагоприятным факторам древесные растения. Разработка и практическое применение инноваций сдерживается недостатком инвестиций и отсутствием сведений об экономической эффективности использования инновационных технологий. Контейнерные технологии производства посадочного материала в древесно-декоративных питомниках занимают все больший сегмент современного рынка России и зарубежных стран. Инновационная технология Pot-in-Pot сочетает в себе преимущества контейнерного и грунтового выращивания посадочного материала древесных растений.

В статье с использованием затратного метода была определена экономическая целесообразность применения инновационной технологии выращивания саженцев. Для оценки выращивания саженцев по инновационной технологии Pot-in-Pot применяется метод анализа инвестиций, основанный на оценках чистого дисконтированного дохода, дисконтированного срока окупаемости, нормы доходности на инвестированный капитал. Выполненное исследование позволило определить затраты на выращивание саженцев ели по технологии Pot-in-Pot и экономически обосновать эффективность инновационного решения по выращиванию посадочного материала. Применение технологии Pot-in-Pot в лесокультурной практике способно обеспечить прорыв в вопросах выращивания саженцев, устойчивых к вредному воздействию высоких температур и с низкой потребностью во влаге. Наряду с биологическими эффектами применение технологии в лесных питомниках позволяет снизить производственные затраты и обеспечить экономический эффект массового производства саженцев. Адаптация технологии Pot-in-Pot к условиям лесного хозяйства России позволит ускорить процессы лесовосстановления в меняющихся климатических условиях, в первую очередь за счет производства устойчивого посадочного материала со сравнительно низкой себестоимостью выращивания.

Ключевые слова: инновации, технология Pot-in-Pot, лесные саженцы, экономическая оценка, себестоимость

PhD (Economics) **E.A. Panyavina**

DSc (Economics), Professor **S.S. Morkovina**

PhD (Agriculture) **A.N. Tseplyaev**

FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov",
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The transition to alternative growing technologies for forest planting material is determined by significant climatic changes and growing demand for woody plants, resistant to unfavorable factors. Development and practical application of innovations is constrained by the lack of investment and information on the economic efficiency of the use of innovative technologies. Container technologies for the production of planting material in tree ornamental nurseries occupy an increasing segment of modern market in Russia and foreign countries. The innovative Pot-in-pot technology combines the advantages of container and soil cultivation of woody plants material. In the article, using cost-effective method and economic feasibility of innovative technology for seedlings' growing has been determined. Investment analysis method, based on estimates of net present value, discounted payback period, and rate of return on invested capital, is used to assess the cultivation of seedlings using innovative Pot-in-Pot technology. The study has made it possible to determine the costs of growing spruce seedlings using Pot-in-Pot technology and economically substantiate the effectiveness of an innovative solution for growing planting material. The use of Pot-in-Pot technology in forestry practice can provide a breakthrough in growing seedlings, resistant to the harmful effects of high temperatures and low moisture requirements. Along with biological effects, the use of technology in forest nurseries can reduce production costs and ensure the economic effect of mass production of seedlings. The adaptation of Pot-in-Pot technology to the conditions of forestry in Russia will accelerate the processes of reforestation in changing climatic conditions, primarily through the production of sustainable planting material with a relatively low cost of cultivation.

Keywords: innovation, Pot-in-Pot technology, forest seedlings, economic valuation, cost

Введение

Вопросы лесовосстановления и лесоразведения в последние годы стоят на пике актуальности в лесном хозяйстве России. Это связано с рядом причин как внешнего, так и внутреннего характера, сложившихся в системе управления лесами.

Климатические факторы в сочетании с устаревшими технологиями лесовосстановления и дефицитом финансовых ресурсов наносят непоправимый урон лесным экосистемам и сводят на нет усилия лесоводов [1].

Климатические факторы, определяющие дефицит влаги и рост температур воздуха, также ведут к увеличению числа и масштабов лесных пожаров и, как следствие, гибели лесов. В последние годы в ряде регионов лесостепи отмечается снижение приживаемости лесных культур, гибель сеянцев и саженцев, ухудшение состояния молодняков. В целом по стране за последние пять лет дисбаланс в процессах воспроизводства и выбытия лесов пре-

высил 500 тыс. га лесных земель в пользу последнего.

Такая ситуация требует быстрых ответных мер реагирования в части ускорения лесовосстановления и разработки эффективных способов выращивания лесных саженцев.

Размеры и темпы лесовосстановительных работ в первую очередь определяют уровень развития и степень интенсивности лесного хозяйства. Важное место в процессах лесовосстановления и лесоразведения отводится посадочному материалу. За последние сорок лет в мире наибольшее распространение получили технологии выращивания посадочного материала преимущественно хвойных пород (сосны, ели) с закрытой корневой системой в небольших контейнерах в теплично-питомнических комплексах, где посадочный материал обеспечивается необходимым микроклиматом, своевременным поливом и подкормкой [2].

В Канаде, Финляндии, Швеции и Норвегии посадка леса более чем на 90 % ведется с использованием технологий выращивания сеянцев с закрытой корневой системой. При этом, как показывает опыт скандинавских стран, производственная себестоимость конвейеризированных сеянцев оказывается ниже стоимости сеянцев, выращенных в открытом грунте [3, 4].

Необходимо отметить, что контейнерная технология производства посадочного материала в древесно-декоративных питомниках занимает все больший сегмент современного рынка России и зарубежных стран. К преимуществам данного способа в сравнении с грунтовым следует отнести: высокую сохранность корневой системы, меньшие затраты на эксплуатацию специальной техники и рабочей силы, увеличение периода посадки [5].

Однако данный способ выращивания имеет свои недостатки, такие как: необходимость частых поливов и подкормок, высокие затраты на первоначальное оборудование площадок (иригационные сооружения, шпалеры, притеночные конструкции и др.) [6].

Корневая система сеянца в контейнере, в отличие от грунтового способа выращивания, в большей мере подвержена температурным воздействиям извне, так как стенки контейнера контактируют с воздушной средой и испытывают нагрев при попадании солнечного освещения.

В процессе онтогенеза, в отличие от кроны, корневая система растений в почве не испытывает резких колебаний температуры. Применение тонкостенных пластиковых контейнеров для выращивания посадочного материала приводит к перегреву корней, расположенных с южной и западной сторон, где субстрат нагревается до 50 °С и более.

Подобные критические температурные воздействия приводят к нарушению таких важнейших физиологических процессов, как фотосинтез, дыхание, транспирация и др. В жестких зимних условиях центральной полосы России наблюдается также проблема резкого понижения температуры в течение суток.

Данные факторы при контейнерном способе выращивания вызывают необходимость принимать специальные меры, для того чтобы температура корневой системы находилась в благоприятном

диапазоне, была равномерной в пределах контейнера и не испытывала существенных изменений в течение суток.

Проблема повреждения корневой системы в результате резких колебаний температуры и влажности субстрата в корневой зоне контейнера стала причиной разработки в 80-х годах XX века в Соединенных Штатах Америки новой технологии производства посадочного материала Pot-in-Pot (Горшок в горшке), известной также как «Миннесотская система», которая представляет собой гибрид контейнерного и грунтового выращивания [7].

«Контейнер-гнездо» помещается в грунт или устанавливается на специально подготовленную площадку. В «контейнер-гнездо» помещается «контейнер-вставка», в который насыпается субстрат и высаживается растение.

Технология Pot-in-Pot сочетает в себе преимущества контейнерного и грунтового выращивания посадочного материала [8].

Изначально технология Pot-in-Pot получила широкое практическое внедрение в ведущих питомниках юго-восточной части США, но после подтверждения ее эффективности она была рекомендована для более широкого распространения [9]. Вскоре технология материала Pot-in-Pot приобрела широкую известность в других регионах Северной Америки, а также в странах Европы [10, 11].

Что касается России, то данная технология в трудах ученых и практиков представлена не в полной мере, что позволяет считать ее новой для лесокультурного дела и подлежащей исследованию.

В работах Э.И. Трещевской, А.Н. Цепляева (2017) рассмотрены наиболее важные лесоводственно-биологические аспекты применения данной технологии при выращивании посадочного материала в лесных и древесно-декоративных питомниках [12, 13].

В то же время практическое использование и масштабирование данной технологии требует проведения многовариантных расчетов, включая экономическое обоснование и сравнительную оценку.

Материалы и методы

Определение экономической эффективности инновационной технологии выращивания саженцев осуществляется на основе затратного метода, кото-

рый предполагает учет полных затрат на производство, включая стартовые инвестиции [14].

Путем дисконтирования затрат и сравнения полученных результатов с традиционными технологиями и решениями осуществляется выбор и дается экономическое обоснование целесообразности применения инновационной технологии в практике выращивания лесных культур.

Такой подход позволяет не учитывать дальнейшие экстерналии выращивания лесных культур на лесокультурных площадях, а лишь оценивать инновационную технологию с позиции затраты – результаты. Известно, что контейнерные технологии отличаются высоким уровнем затрат, и технология Pot-in-pot для выращивания саженцев декоративных древесно-кустарниковых пород, объединяющая контейнерное и грунтовое выращивание посадочного материала, ожидаемо будет затратной.

В нашем исследовании затраты по технологии Pot-in-pot подразделяли на:

а) текущие производственные расходы, то есть постоянные, имеющие место в каждом производственном цикле или имеющие частую периодичность (менее месяца);

б) единовременные, то есть однократные или периодически производимые (с периодичностью более месяца) расходы, обеспечивающие процессы производства в течение длительного времени.

В соответствии с «Отраслевыми особенностями состава затрат, включаемых в себестоимость продукции на предприятиях лесопромышленного комплекса», к единовременным однократным расходам относили [15]:

- расходы на освоение вводимых в эксплуатацию новых предприятий, цехов, производств, отдельных машин и агрегатов (пусковые расходы);

- расходы на подготовку и освоение производства новых видов продукции на действующих предприятиях, не предназначенной для серийного или массового производства;

- другие единовременные затраты, обеспечивающие производство в течение длительного времени.

Единовременными затратами инновационной технологии Pot-in-Pot являются материалы и расходы на обустройство производственной площадки.

При определении производственной себестоимости получения посадочного материала Pot-in-Pot использовался нормативный подход, основанный на составлении расчетно-технологических карт (РТК) и калькулирования статей затрат.

Расчет экономической эффективности выращивания саженцев осуществляли поэтапно. На первом этапе необходимо определить эффективность выращивания посадочного материала, рассчитав цену на саженцы.

Второй этап связан с определением эффективности инновационной технологии Pot-in-Pot.

Для оценки выращивания саженцев по инновационной технологии Pot-in-Pot применяется метод анализа инвестиций, который основан на дисконтированных (временных) оценках и предусматривает расчет:

- чистого дисконтированного дохода.
- дисконтированного срока окупаемости.
- нормы доходности на инвестированный капитал (индекс доходности инвестиций).

В исследовании дисконтирующий множитель рассчитан, исходя из нормы дисконта $\delta = 0,10$ по формуле

$$\alpha = \frac{1}{(1 + \delta)^{t_n - t_0}}, \quad (1)$$

где t_n – номер текущего года (от 1 до 20);

t_0 – номер года, к которому приводятся все затраты («нулевой» год – год окончания работ).

Дисконтированный срок окупаемости инвестиционного проекта представляет собой период времени, начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления.

Срок окупаемости капитальных вложений с учётом дисконтирования определялся по формуле

$$T_{ок} = t_m + \frac{|S_m|}{|S_m| + S_{m+1}}, \quad (2)$$

где t_m – количество лет, когда чистый дисконтированный доход накопленным потоком остается отрицательным;

$|S_m|$ – абсолютная величина отрицательного значения чистого дисконтированного дохода накопленным потоком в последнем году из t_m ;

S_{m+1} – положительная величина чистого дисконтированного дохода накопленным потоком в году, следующем за t_m .

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы чистого дисконтированного дохода накопленным потоком к величине капиталовложений и характеризует «отдачу проекта» на вложенные в него средства. ИД рассчитывался следующим образом:

$$ИД = \frac{ЧДД \text{ за период}}{\text{Капитальные вложения}}. \quad (3)$$

ИД ≥ 1 , что свидетельствует об экономической эффективности проекта.

Результаты

Экономическая оценка инновационной технологии Pot-in-Pot включала определение производственной себестоимости выращивания посадочного материала. Объектом исследования стали саженцы ели, выращиваемые в условиях лесного питомника, территориально расположенного в Воронежской области.

Производственные затраты выращивания саженца ели по технологии Pot-in-Pot объединяли статьи: заработная плата с начислениями, амортизационные отчисления на содержание сооружений и оборудования, материалы, топливо, энергия.

Расчеты производились на 1 гектар продуцирующей площади питомника. Выход саженцев с одного гектара продуцирующей площади питомника составил 72,0 тысяч штук растений. Результаты экономических расчетов по определению производственной себестоимости саженца ели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Экономические показатели по определению производственной себестоимости выращивания саженцев ели Pot-in-Pot

Показатель	Ед. изм.	Значение показателя	Структура затрат, %
1	2	3	4
Заработная плата	тыс. р.	218,28	7,6
Амортизационные отчисления на содержание сооружений и оборудования	тыс. р.	343,08	12,0
Материалы	тыс. р.	2230,56	78,1
Электроэнергия и вода	тыс. р.	49,76	1,8
Топливо	тыс. р.	12,95	0,5
Всего производственных затрат	тыс. р.	2854,65	100,0
Выход посадочного материала	шт. / га	72000	
Производственная себестоимость ед. продукции, в т. ч.	р.	39,65	100,0
заработная плата	р.	3,03	7,6
амортизационные отчисления на содержание сооружений и оборудования	р.	4,77	12,0
материалы	р.	30,98	78,1
электроэнергия и вода	р.	0,69	1,8
топливо	р.	0,18	0,5

Экономические показатели по определению полной себестоимости выращивания и цены реализации саженцев ели Pot-in-Pot

Показатель	Ед. изм.	Значение показателя
1	2	3
Производственная себестоимость	р.	2854658,15
Накладные расходы (25 % от производственной себестоимости)	р.	713664,54
Полная себестоимость	р.	3568322,69
Выход саженцев ели Pot-in-pot	шт. / га	72000
Производственная себестоимость саженца ели Pot-in-Pot	р.	39,65
Накладные расходы саженца ели Pot-in-Pot	р.	9,91
Полная себестоимость саженца ели Pot-in-Pot	р.	49,56
Прибыль (100 % от полной себестоимости)	р.	49,56
Оптово-отпускная цена на саженец ели Pot-in-Pot без НДС	р.	99,12
НДС (20 %)	р.	19,82
Оптово-отпускная цена на саженец ели Pot-in-Pot с НДС	р.	118,94

Используя расчетно-технологические карты, рассчитали производственную себестоимость выращивания 72,0 тысяч саженцев ели по технологии Pot-in-Pot в течение одного года – 285 466 тыс. р. и определена производственная себестоимость выращивания единицы продукции в размере 39,65 р.

Характерно, что в структуре производственной себестоимости наибольшая доля (78,1 %) принадлежит затратам на материалы, семена, удобрения. Содержание машин и оборудования составляет 12 %, а заработная плата с начислениями забирает 7,8 % производственных затрат.

На основании полной себестоимости выращивания сформирована отпускная цена на саженцы ели, выращенные по технологии Pot-in-Pot. Результаты экономических расчетов по определению полной себестоимости и цены реализации саженца ели Pot-in-Pot представлены в табл. 2.

Полная себестоимость саженца ели Pot-in-Pot формируется путем суммирования производственной себестоимости и накладных расходов.

Таким образом, цена реализации саженца ели Pot-in-Pot составляет 118,94 р. с учетом НДС.

Нами выполнена оценка эффективности инвестиционного проекта по выращиванию саженцев ели Pot-in-Pot в течение расчетного периода, охватывающего временной интервал от начала проекта до его прекращения.

В основу оценок эффективности инвестиционных затрат положены следующие основные принципы [16]:

- рассмотрение проекта на протяжении всего его жизненного цикла (расчетного периода);
- моделирование денежных потоков, включающих все связанные с осуществлением проекта денежные поступления и расходы за расчетный период;
- принцип положительности и максимума эффекта;
- учет фактора времени;
- учет только предстоящих затрат и поступлений.

Расчетный период принимаем равным 20 годам – сроку службы контейнерной площадки для технологии Pot-in-Pot.

Год окончания строительства контейнерной площадки считаем нулевым годом, в который записываем затраты (отток денежных средств) в сумме, равной величине инвестиций, – 6176,45 тыс. р.

Результат (приток денежных средств) на первый год эксплуатации определялся суммой чистой прибыли – 2854,66 тыс. р. В последующие годы значение результата увеличивали, исходя из темпов инфляции 3 % в год.

Чистый дисконтированный доход за 20 лет эксплуатации положителен, составляет 23 655,0 тыс. р., следовательно, проект является целесообразным, так как денежные доходы по проекту больше суммы инвестиций. Дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 2,51 года:

$$T_{ок} = 2 + \frac{1152,87}{1152,87 + 11,54} = 2,51 \text{ года.}$$

Индекс доходности составил 3,8 года и свидетельствует об эффективности проекта:

$$\text{ИД} = \frac{23655}{6176,45} = 3,83.$$

Следует отметить, что ни один из перечисленных критериев сам по себе не является достаточным для принятия решения о финансировании проекта. Решение об инвестировании средств в проект должно приниматься с учетом значений всех перечисленных критериев и интересов всех участников инвестиционного проекта.

Для расчета бюджетной эффективности проекта по выращиванию саженцев ели с использованием технологии Pot-in-Pot были установлены объемы платежей в бюджет в части НДС и налога на прибыль, которые составили в расчете на горизонт планирования 20 лет 22 370,35 тыс. р.

Результаты оценки ростовых характеристик посадочного материала позволили установить, что инновационная технология Pot-in-Pot выращивания саженцев ели обеспечивает стандартные размеры саженцев за один вегетационный период [17].

Зарубежные исследователи также отмечают достоверную разницу в развитии растений, выращиваемых по системе Pot-in-Pot, в сравнении с традиционной контейнерной технологией [18].

Таким образом, принципиальное отличие инновационной технологии Pot-in-Pot от классической заключается в том, что на достижение заданных биологических показателей посадочного мате-

риала необходим один год, в то время как для классической контейнерной технологии требуется двухлетний период.

Основные показатели сравнительного анализа выращивания саженцев ели по двум рассмотренным технологиям представлены в табл. 3.

По данным представленного сравнительного анализа, стоимость одного саженца ели по технологии Pot-in-Pot значительно меньше по сравнению с классической контейнерной технологией (рис. 1).

В целом затраты на выращивание саженцев ели на один гектар производящей площади при технологии Pot-in-Pot на 2,1 млн р. ниже, чем в контейнерной технологии.

Высокий уровень стартовых расходов по инновационной технологии сдвигает срок окупаемости проекта на один год по сравнению с контейнерной технологией, при этом за счет низкой себестоимости выращивания и коротких сроков формирования стандартных размеров саженцев технология имеет явные конкурентные преимущества в финансовых показателях доходности.

За аналогичный период выращивания контейнеризированных саженцев (2 года) представляется возможным, используя технологию Pot-in-pot, получить в два раза больше стандартного лесопосадочного материала. Тогда ожидаемые показатели эффективности проекта с учетом сроков выращивания представлены в табл. 4.

Таблица 3

Сравнительный анализ выращивания саженцев ели по технологии Pot-in-Pot и классической контейнерной технологии

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя для технологий	
		Pot-in-Pot	классическая контейнерная технология
Производственная себестоимость саженцев ели в расчете на 1 га	р.	2854658,15	4570448,0
Полная себестоимость саженцев ели в расчете на 1 га	р.	3568322,69	5713060,0
Выход саженцев ели	шт. / га	72000	57600
Производственная себестоимость саженца ели	р.	39,65	79,35
Полная себестоимость саженца ели	р.	49,56	99,19
Прибыль	р.	49,56	99,19
Оптово-отпускная цена на саженец ели без НДС	р.	99,12	198,38
НДС (20 %)	р.	19,82	39,68
Оптово-отпускная цена на саженец ели с НДС	р.	118,94	238,06

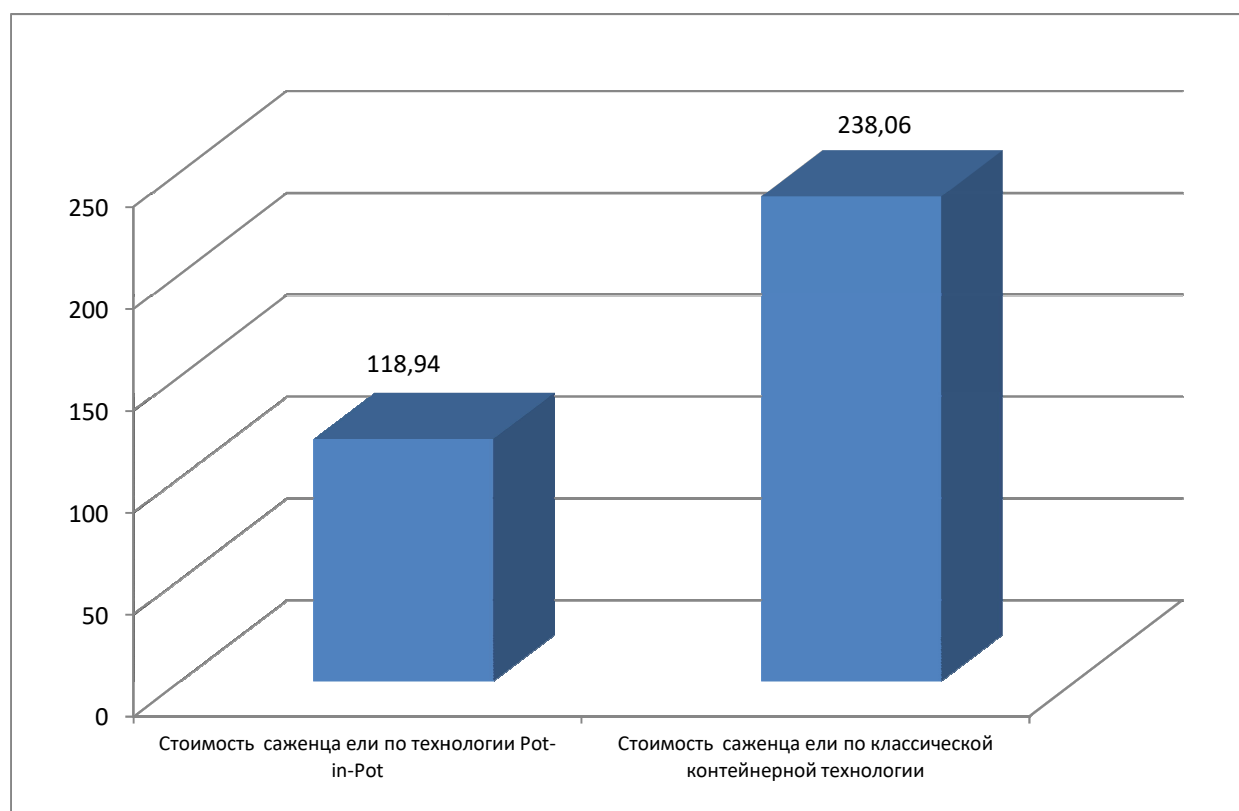


Рис. 1. Стоимость одного саженца ели по технологии Pot-in-Pot и классической контейнерной технологии, р.

Таблица 4

Сравнительные характеристики технологии Pot-in-Pot и классической контейнерной и выращивания стандартных саженцев ели

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя для технологий		
		Pot-in-Pot, один год	Pot-in-Pot, два года	классическая контейнерная технология, два года
Выручка от продаж (без НДС)	тыс. р.	7136,64	14273,3	11424,38
Полные затраты на выращивание сеянцев	тыс. р.	3568,32	7136,6	5713,06
Прибыль до налогообложения	тыс. р.	3568,32	7136,6	5711,32
Налог на прибыль	тыс. р.	713,66	1427,2	1142,26
Чистая прибыль	тыс. р.	2854,66	5709,2	4569,06
Чистый дисконтированный доход накопленным потоком	тыс. р.	23655,0	47310,0	41614,95
Срок окупаемости	лет	2,51	1,26	1,51
Индекс доходности	коэфф.	3,83	7,66	6,79
Дисконтированный денежный поток по платежам в бюджет накопленным потоком	тыс. р.	22370,35	44740,70	35821,12

Таким образом, проведенный сравнительный анализ выращивания посадочного материала ели по технологии Pot-in-Pot и классической контейнерной технологией определил эффективность инновационной технологии Pot-in-Pot выращивания саженцев ели.

Выводы

Переход к инновационным технологиям в лесовыращивании требует, наряду с биологической, экономической оценки ее эффективности.

Выполненное исследование позволило определить затраты на выращивание саженцев ели по технологии Pot-in-Pot и экономически обосновать эффективность инновационного решения по выращиванию посадочного материала.

Установлено, что процесс выращивания саженцев в технологии Pot-in-Pot отличается высоким уровнем материалоемкости, а производственная себестоимость одного саженца составляет 39,65 р.

На практике технология Pot-in-Pot обеспечивает конкурентоспособность посадочного материала, а рассчитанная затратным методом цена на саженцы составляет 118,94 р. (с учетом НДС).

Оценка экономической эффективности проектных предложений по выращиванию ели по технологии Pot-in-Pot базируется на сопоставлении ожидаемого эффекта (прибыли) с инвестированными затратами на внедрение мероприятий. Инвестиционные затраты (расходы на строительство контейнерной площадки) определены в размере

176,45 тыс. р. По результатам проведенных расчетов следует вывод о целесообразности создания контейнерной площадки, которая позволит выращивать саженцы ели по технологии Pot-in-Pot, что подтверждают показатели эффективности инвестиций.

Для технологии выращивания саженцев ели Pot-in-Pot чистый дисконтированный доход за 20 лет составит 23 655,0 тыс. р.

Срок окупаемости инвестиционного проекта с учетом нормы дисконта составит 2,51 года, за исследуемый период в 20 лет доходы инвестиционного проекта обеспечат 30-кратное покрытие инвестиционных затрат, что позволяет считать эффективным проект с технологией Pot-in-Pot.

Применение технологии Pot-in-Pot в лесокультурной практике способно обеспечить прорыв в вопросах выращивания саженцев, устойчивых к вредному воздействию высоких температур и с низкой потребностью во влаге. Наряду с биологическими эффектами применение технологии в лесных питомниках позволяет снизить производственные затраты и обеспечить экономический эффект массового производства саженцев.

Адаптация технологии Pot-in-Pot к условиям лесного хозяйства России позволит ускорить процессы лесовосстановления в меняющихся климатических условиях, в первую очередь, за счет производства устойчивого посадочного материала со сравнительно низкой себестоимостью выращивания.

Библиографический список

1. Petrov, A. P. Model of economic organization of the Russian forestry / A. P. Petrov, S.S. Morkovina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)". – 2019. – P. 012041.
2. Морковина, С. С. Инновационные технологии в лесокультурном деле: реальность и перспективы / С. С. Морковина, М. В. Драпалюк, Е. В. Баранова // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 3 (19). – С. 327–338.
3. Riley L. E., Dumroese R. K., Landis T. D. National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations – 2003; 2003 June 9–12; Coeur d'Alene, ID; and 2003 July 14–17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
4. Economics of Utilizing Biodegradable Containers in Ornamental Crop Production Systems / R. G. Brumfield, B. Guihong, D. Cochran, A. Devincintis // 2014 ASHS Annual Conference.

5. Евлаков, П. М. Инвестиционная привлекательность лесных селекционно-семеноводческих центров: практико-ориентированный подход / П. М. Евлаков, В. Е. Сухова / Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 1 (21). – С. 220–230.
6. Нгуен Хьеу Льем. Выращивание сеянцев древесных и кустарниковых пород в контейнерах на различных основаниях : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Нгуен Хьеу Льем. – Воронеж, 1989. – 21 с.
7. Pellet, H. An update on Minnesota system of container production / H. Pellet // Amer. Nurseryman. – 1983: 157.
8. Parkerson, C. H. A new field-type nursery operation / C. H. Parkerson // Proc. Int. Plant Prop. Soc. – 1990. – Vol. 40. – P. 417–419.
9. Chemically Controlling Root Escape in Pot-in-pot Production of River Birch and Yoshino Cherry / R. Harris, A. X. Niemiera, R. D. Wright, C. H. Parkerson // HortTechnology. – 1996. – Vol. 6. – DOI: 10.21273/HORTTECH.6.1.30.
10. Holcomb, M. The pot-in-pot (PNP) production system / M. Holcomb, D. Fare. – 2009. – URL: <http://www.tnstate.edu/faculty/ablalock/documents/Pot-N-Pot.pdf>.
11. Fulcher, A. Pot-in-Pot Nursery Production / A. Fulcher. – UK College of Agriculture, Food, and Environment, Lexington, Kentucky, 2011. – URL: <http://www.youtube.com/watch?v=wNeBurkznIk>.
12. Трещевская, Э. И. Применение удобрения пролонгированного действия при выращивании посадочного материала по системе Pot-in-pot / Э. И. Трещевская, А. Н. Цепляев // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2017. – № 4. – С. 48–55.
13. Цепляев, А. Н. Опыт применения системы «горшок в горшке» (Pot-in-pot) в условиях производственного питомника / А. Н. Цепляев // Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. – 2017. – № 9. – С. 182–185.
14. Выращивание посадочного материала тополя белого (*Populus alba* L.) на основе коллекции in vitro и оценка его себестоимости / О. С. Машкина, Т. М. Табацкая, С. С. Морковина, Е. А. Панявина // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 1 (21). – С. 28–44.
15. Отраслевые особенности состава затрат, включаемых в себестоимость продукции на предприятиях лесопромышленного комплекса : утв. Минэкономики РФ 19.10.1994 (с изм. от 26.12.2002) (вместе с Методическими рекомендациями (инструкцией) по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции лесопромышленного комплекса, утв. Минэкономики РФ 16.07.1999). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28866.
16. Серов, В. М. Инвестиционный анализ : учебник / В. М. Серов, Е. А. Богомолова, Н. А. Моисеенко ; под общ. ред. В. М. Серова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 248 с.
17. Цепляев, А. Н. Технология pot-in-pot. Теория и практика в производственном питомнике / А. Н. Цепляев // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конференции. – 2019. – С. 331–333.
18. Cullen, W. J. Pot in pot: from concept to reality / W. J. Cullen // Comb. Proc. Intern. Plant Propagators' Soc. – S. 1. – 2000. – Vol. 49. – P. 437–441.

References

1. Petrov A.P., Morkovina S.S. (2019) Model of economic organization of the Russian forestry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Jubilee Scientific and Practical Conference "Innovative Directions of Development of the Forestry Complex (FORESTRY-2018)"*. P. 012041.
2. Morkovina S.S., Drapalyuk M.V., Baranova E.V. (2015) *Innovacionnye tekhnologii v lesokul'turnom dele: real'nost' i perspektivy. Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 5, № 3 (19), pp. 327-338 (in Russian).

3. Riley L.E., Dumroese R.K., Landis T.D. National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations – 2003; 2003 June 9–12; Coeur d’Alene, ID; and 2003 July 14–17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
4. Brumfield R.G., Guihong B., Cochran D., Devincintis A. (2014) Economics of Utilizing Biodegradable Containers in Ornamental Crop Production Systems. *2014 ASHS Annual Conference*.
5. Evlakov P.M., Suhova V.E. (2016) *Investicionnaya privlekatel'nost' lesnyh selekcionno-semenovodcheskih centrov: praktiko-orientirovannyj podhod. Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 6, № 1 (21), pp. 220-230 (in Russian).
6. Nguen Heu Lem. *Vyrashchivanie seyancev drevesnyh i kustarnikovyh porod v kontejnerah na razlichnyh osnovaniyah: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk* [PhD (Agriculture) thesis abstr.]. Voronezh, 1989, 21 p. (in Russian).
7. Pellet H. (1983) An update on Minnesota system of container production. *Amer. Nurserym.* 157.
8. Parkerson C.H. (1990) A new field-type nursery operation. *Proc. Int. Plant Prop. Soc.* 40: 417–419.
9. Harris R., Niemiera A.X., Wright R.D., Parkerson C.H. (1996) Chemically Controlling Root Escape in Pot-in-pot Production of River Birch and Yoshino Cherry. *HortTechnology* 6. DOI: 10.21273/HORTTECH.6.1.30.
10. Holcomb M., Fare D. (2009). The pot-in-pot (PNP) production system. URL: <http://www.tnstate.edu/faculty/ablalock/documents/Pot-N-Pot.pdf>.
11. Fulcher A. (2011) Pot-in-Pot Nursery Production. UK College of Agriculture, Food, and Environment, Lexington, Kentucky. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=wNeBurkznIk>.
12. Treshchevskaya E.I., Tseplyaev A.N. (2017) *Primenenie udobreniya prolongirovannogo dejstviya pri vyrashchivanii posadochnogo materiala po sisteme Pot-in-pot. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyajstva*, № 4, pp. 48-55 (in Russian).
13. Tseplyaev A.N. (2017) *Opyt primeneniya sistemy "gorshok v gorshke" (Pot-in-pot) v usloviyah proizvodstvennogo pitomnika. Nauchnye trudy CHEboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Cicina RAN*, № 9, pp. 182-185 (in Russian).
14. Mashkina O.S., Tabackaya T.M., Morkovina S.S., Panyavina E.A. (2016) *Vyrashchivanie posadochnogo materiala topolya belogo (Populus alba L.) na osnove kollekcii in vitro i ocenka ego sebestoimosti. Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forestry Engineering Journal], Vol. 6, № 1 (21), pp. 28-44 (in Russian).
15. *Otraslevye osobennosti sostava zatrat, vlyuchaemyh v sebestoimost' produkcii na predpriyatiyah lesopromyshlennogo kompleksa» (utv. Minekonomiki RF 19.10.1994) (s izm. ot 26.12.2002) (vmeste s Metodicheskimi rekomendaciyami (instrukcij) po planirovaniyu, uchetu i kal'kulirovaniyu sebestoimosti produkcii lesopromyshlennogo kompleksa", utv. Minekonomiki RF 16.07.1999)*. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28866/ (in Russian).
16. Serov V.M., Bogomolova E.A., Moiseenko N.A. *Investicionnyj analiz: uchebnik*; ed. by V.M. Serov. Moscow: INFRA-M, 2019. 248 p. (in Russian).
17. Tseplyaev A.N. *Tekhnologiya pot-in-pot. Teoriya i praktika v proizvodstvennom pitomnike*. In: *Tekhnologii i oborudovanie sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva. Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, 2019, pp. 331-333 (in Russian).
18. Cullen W.J. (2000) Pot in pot: from concept to reality. *Comb. Proc. Intern. Plant Propagators' Soc.* S. 1, Vol. 49, pp. 437-441.

Сведения об авторах

Панявина Екатерина Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация.

Морковина Светлана Сергеевна – доктор экономических наук, профессор, проректор по науке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: tc-sveta@mail.ru.

Цепляев Алексей Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация.

Information about authors

Panyavina Ekaterina Anatolyevna – PhD (Economics), Associate Professor, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation.

Morkovina Svetlana Sergeevna – DSc (Economics), Professor, Vice-Rector for Science "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: tc-sveta@mail.ru.

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation.

ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Научный журнал

2020 г. Том 10 № 3 (39)

Подписано в печать 30.09.2020. Формат 60×90 1/8. Усл. печ. л. 24,75.

Уч.-изд. л. 43,73. Тираж 1000 экз. Заказ 389

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

РИО ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Отпечатано в УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». 394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10

LESOTEKHNICHESKII ZHURNAL

Scientific journal

2020 Vol. 10 № 3 (39)

Sent for press 30.09.2020. Format 60×90 1/8. Conv. pr. l. 24,75.

Teach. and publ. l. 43,73. Circulation 1000 copies. Order 389

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies
named after G.F. Morozov»

EPA of FSBEI HE «VSUFT». 394087, Timiryazeva st., 8, Voronezh

Printed in «VSUFT». 394087, Dokuchaeva st., 10, Voronezh