

ISSN 2221-9927

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ
ИМЕНИ В. Ф. КУПРЕВИЧА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

ОБЩЕСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«БЕЛОРУССКОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

БОТАНИКА

(ИССЛЕДОВАНИЯ)

Выпуск 52

Издается с 1959 года

*Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований
по биологической отрасли науки
(ботаника, экология, физиология и биохимия растений)*

Включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

*Полнотекстовая электронная версия сборника размещается на сайте
<https://botany.by>*

Минск
«Колорград»
2023

Научные редакторы:

академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор *Н. А. Ламан*;
академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор *В. И. Парфенов*

Редакционная коллегия:

- Н. А. Ламан* – академик НАН Беларуси, доктор биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- В. И. Парфенов* – академик НАН Беларуси, доктор биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- П. В. Крестов* – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук,
Ботанический сад-институт Дальневосточного отделения РАН (Владивосток, Россия)
- Н. В. Лукина* – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук,
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (Москва, Россия)
- В. Н. Прохоров* – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- В. В. Титок* – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук,
Центральный ботанический сад НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Н. Г. Аверина* – доктор биологических наук, профессор,
Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Ю. К. Виноградова* – доктор биологических наук, профессор,
Главный ботанический сад имени Н. В. Цицина РАН (Москва, Россия)
- Д. В. Гельтман* – доктор биологических наук, профессор,
Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Россия)
- Н. С. Гурина* – доктор биологических наук, профессор,
Белорусский государственный медицинский университет (Минск, Беларусь)
- О. И. Родькин* – доктор биологических наук,
Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова БГУ
(Минск, Беларусь)
- Ю. А. Семенщеников* – доктор биологических наук, профессор,
Брянский государственный университет имени акад. И. Г. Петровского (Брянск, Россия)
- Г. Т. Ситпаева* – доктор биологических наук,
Институт ботаники и фитоинтродукции Республики Казахстан (Алма-Аты, Казахстан)
- Д. Г. Груммо* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- А. В. Пугачевский* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Р. В. Цвирко* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Д. Б. Беломесяцева* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Н. А. Зеленкевич* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Ответственный секретарь

кандидат биологических наук *Т. А. Будкевич*

ISSN 2221-9927

© Институт экспериментальной ботаники
НАН Беларуси, 2023
© Оформление. ООО «Колорград», 2023

ISSN 2221-9927

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS
DEPARTMENT OF BIOLOGICAL SCIENCES

STATE SCIENTIFIC INSTITUTION

“V. F. KUPREVICH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS”

SOCIAL ASSOCIATION “BELARUSIAN BOTANICAL SOCIETY”

BOTANY

(RESEARCH)

Issue 52

Published since 1959

*Included to the Scientific Publications List in the Republic of Belarus
of the publishing dissertation research results at the biological science branch
(botany; ecology; plants physiology and biochemistry)*

Included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database

The full-text e-copy see on the website <https://botany.by>

Minsk
“Kolorgrad”
2023

Botany (research) : Collection of scientific transactions. Issue 52 / Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus. – Minsk : Kolorgrad, 2023. – 343 p.
ISSN 2221-9927.

Scientific editors:

N. A. Laman (Academician, D. Sc. (Biology), Professor);
V. I. Parfenov (Academician, D. Sc. (Biology), Professor)

Editorial board:

- N. A. Laman* – Academician, D. Sc. (Biology), Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- V. I. Parfenov* – Academician, D. Sc. (Biology), Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- P. V. Krestov* – Corresponding Member, D. Sc. (Biology),
Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the RAS (Vladivostok, Russia)
- N. V. Lukhyna* – Corresponding Member, D. Sc. (Biology),
Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS (Moscow, Russia)
- V. N. Prokhorov* – Corresponding Member, D. Sc. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- V. V. Titok* – Corresponding Member, D. Sc. (Biology),
Central Botanical Garden of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- N. G. Averina* – D. Sc. (Biology), Professor,
Institute of Biophysics and Cell Engineering of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- Yu. K. Vynogradova* – D. Sc. (Biology), Professor,
N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS (Moscow, Russia)
- D. V. Heltman* – D. Sc. (Biology), Professor,
V. L. Komarov Botanical Institute of the RAS Russia (Saint-Petersburg, Russia)
- N. S. Huryna* – D. Sc. (Biology), Professor,
Belarusian State Medical University Belarus (Minsk, Belarus)
- O. I. Rodkin* – D. Sc. (Biology),
International Sakharov Environmental Institute of BSU (Minsk, Belarus)
- Yu. A. Semenishchenkov* – D. Sc. (Biology), Professor,
I. G. Petrovsky Bryansk State University Russia (Bryansk, Russia)
- G. T. Sytpaeva* – D. Sc. (Biology),
Institute of Botany and Phytointroduction of Kazakhstan (Alma-Ata, Kazakhstan)
- D. G. Grummo* – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- A. V. Puhachevsky* – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- R. V. Tsvirko* – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- D. B. Belomesyatseva* – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)
- N. A. Zeliankevich* – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)

Executive Secretary

T. A. Budkevich – Ph. D. (Biology)

ISSN 2221-9927

© Institute of Experimental Botany
of the NAS of Belarus, 2023

© Publisher and printing. “Kolorgrad”, 2023

Adress: Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus, 27, Akademicheskaya str., 220072,
Minsk, Belarus. Fax +375 (17) 322 18 53, tel. + 375 (17) 374 00 27, e-mail: nan.botany@yandex.by

СОДЕРЖАНИЕ

ФЛОРА И СИСТЕМАТИКА

В. Н. Лебедько, И. И. Шимко

Данные первичного исследования таксономического разнообразия видов рода *Ranunculus* L. секции *Ranunculus* с территории Витебской области 11

К. Л. Савицкая, М. А. Джус

Мак белоцветковый (*Papaver albiflorum* (Elkan) Pacz., Papaveraceae) – новый адвентивный вид флоры Беларуси 18

Н. В. Самохвалова, А. Н. Мялик, Т. Г. Шлапакова, А. В. Кручонок

Оценка генетической изменчивости популяций гудайеры ползучей (*Goodyera repens* (L.) R. Br.) в Беларуси с использованием молекулярных iPBS маркеров 28

ФИТОЦЕНОЛОГИЯ

Д. Г. Груммо, Н. А. Зеленкевич

Фитоиндикационное картографирование: теоретические аспекты метода и применение при мониторинге природных экосистем 38

А. Ю. Комар, О. В. Созинов

Синтаксономическое разнообразие мелиоративно-производных сосняков заказника «Налибокский» 71

Е. В. Спиридович, А. Б. Власова, Е. Д. Агабалаева, Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович, Д. Миллер, М. Кост, Ю. К. Виноградова, В. Н. Решетников

Влияние жостера слабительного (*Rhamnus cathartica* L.) на видовой состав и структуру растительных сообществ в Беларуси и в регионах среднего запада США 87

Л. И. Старикова, М. В. Ермохин, А. В. Пугачевский, В. С. Ивкович

Динамика структуры высоковозрастных древостоев березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Березинском биосферном заповеднике 100

Д. В. Татарников

Динамика структуры старовозрастного сосняка за 70-летний период наблюдений 114

ЭКОЛОГИЯ ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. М. Мялик, М. М. Дашкевич, В. А. Галуц

Відавья асаблівасці акумуляцыі цяжкіх металаў у надземнай фітамасе абарыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся 123

А. В. Судник

Особенности устройства и содержания защитных снегозадерживающих насаждений вдоль автомобильных дорог 134

А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук

Оценка запаса лесных горючих материалов в компонентах дубовых лесов ближней зоны ЧАЭС и содержания в них ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr 143

Е. С. Шавалда, А. В. Судник, Н. С. Юшин, И. И. Зиньковская, М. В. Фронтьева

Загрязнение почвогрунта полосы отвода автомобильных дорог Минской области тяжелыми металлами 155

МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ

- В. Б. Звягинцев, Д. Б. Беломесяцева, А. Г. Пинчук, А. Д. Телеш, Е. Р. Волошина*
 Моделирование ареалов распространения карантинных организмов на примере оомицета
Phytophthora alni Brasier et S.A. Kirk 167
- С. И. Кориняк*
 Фитопатогенные дематиевые гифомицеты в дубравах республиканского заказника «Выдрица» 176
- Е. В. Рахимова, Л. А. Кызметова, Г. Сытабеккызы, А. М. Асылбек*
 Видовой состав и распространение рода *Pleospora* Rabenh. (Ascomycota) на юго-востоке
 Казахстана 182
- Н. В. Синчук, С. В. Буга*
 Характер повреждения листовых пластинок тополя берлинского (*Populus x berolinensis* Dippel.)
 личинками тополевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) в городах Витебск и Минск 193
- А. К. Храмов, В. Д. Поликсенова, И. А. Федюшко, С. Г. Сидорова, И. С. Гирилович, Н. А. Лемеза*
 Чужеродные для условий Беларуси фитопатогенные микромицеты на некоторых хозяйственно
 полезных растениях 203

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Н. А. Ламан, А. В. Усик, Ж. М. Анисова, А. Н. Гриц, Е. Н. Олешук, М. М. Сак*
 Способы ограничения распространения и искоренения инвазивного вида золотарника
 (*Solidago canadensis* L.) 213
- Н. А. Еловская, Ж. Н. Калацкая, Н. А. Ламан, В. В. Николайчук, К. С. Гилевская, В. И. Куликовская,
 Р. П. Закирова, С.М. Тараева*
 Особенности роста и устойчивость микроклонов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре
in vitro в условиях осмотического стресса при обработке конъюгатом хитозана с феруловой
 кислотой 225
- Е. Н. Карасёва, Р. И. Лукашов*
 Биологически активные вещества и их антиоксидантная активность в листьях *Dioscorea alata* L. 236
- Е. Н. Карасёва*
 Оптимизация корнеобитаемой среды в оранжерейной культуре *Dioscoreae alata* L. 244
- К. Р. Кем, Н. А. Ламан, В. А. Хрипач, Е. В. Черехухина*
 Влияние брассиностероид-содержащих композиций на формирование элементов продуктивности
 льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) и качество льноволокна 247
- Т. Н. Куделина, Е. А. Маслоков, О. В. Молчан*
 Ростовые процессы растений томата (*Solanum lycopersicum* L.) при варьировании соотношения
 красного и синего диапазонов в полноспектральных композициях LED-освещения низкой
 интенсивности 253
- И. А. Машкин, В. П. Шуканов, Е. В. Мельникова, Л. А. Корытько, С. Н. Полянская*
 Влияние обработок побочными продуктами от производства препарата Оксигумат на всхожесть
 семян и рост сеянцев сосны (*Pinus sylvestris* L.) 260
- О. В. Молчан, Т. Н. Куделина, Л. Ф. Кабашишникова, А. Г. Солдатов*
 Модификация функциональной активности фотосистемы II при инфильтрации листьев
Arabidopsis thaliana (L.) Neuh. многостенными углеродными нанотрубками 267
- Ж. А. Рупасова, К. А. Добрянская, Н. Б. Павловский, О. В. Дрозд, В. С. Задаля, П. Н. Бельй,
 Э. И. Коломиец, З. М. Алещенко, М. Н. Мандрик-Литвинкович*
 Влияние препаратов с фунгицидной активностью на биофлавоноидный комплекс плодов
Vaccinium corymbosum L. в условиях Беларуси 274
- В. С. Статкевич, Р. И. Лукашов*
 Хроматографический анализ кумаринов в органах растений борщевика Сосновского
 (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) 282

<i>В. А. Терлецкая, Р. И. Лукашов</i> Изучение состава биологически активных веществ травы видов рода <i>Lamium</i> L.	294
--	-----

БОТАНИЧЕСКИЕ КОЛЛЕКЦИИ

<i>А. А. Свирид, В. Н. Кавцевич</i> Коллекция диатомовых водорослей озер Березинского биосферного заповедника	301
--	-----

БОТАНИЧЕСКИЕ НАХОДКИ

<i>Д. В. Дубовик, С.С. Савчук, А. Н. Скуратович, В. Н. Лебедько</i> Новые материалы к распространению некоторых редких видов и гибридов сосудистых растений Беларуси	306
--	-----

ЮБИЛЯРЫ

Ольга Степановна ГАПИЕНКО (к 75-летию со дня рождения)	313
Светлана Анатольевна НОВИК (к 70-летию со дня рождения)	314
Дмитрий Иванович ТРЕТЬЯКОВ (к 70-летию со дня рождения)	316

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

К 140-летию со дня рождения Михаила Петровича ТОМИНА (1883–1967)	317
Ученый, патриот, гражданин: к 120-летию академика Николая Дмитриевича НЕСТЕРОВИЧА (1903–1984)	320
Иван Андреевич КАУРОВ, к 100-летию со дня рождения (1923–1994)	323
Наталья Витальевна КОЗЛОВСКАЯ, к 100-летию со дня рождения (1923–1991)	325
Леонид Петрович СМОЛЯК, к 100-летию со дня рождения (1923–1995)	327
Член-корреспондент НАН Беларуси Евгений Антонович СИДОРОВИЧ, к 95-летию со дня рождения (1928–2017)	328

ПОТЕРИ НАУКИ

Светлана Иосифовна БЕЛЬСКАЯ (1937–2023)	332
Иван Иванович ЛИШТВАН (1932–2023)	334
Анатолий Семенович МЕЕРОВСКИЙ (1936–2023)	336

ХРОНИКА

Международный научно-практический семинар «Научные основы ведения кадастров растительного мира в целях устойчивого использования и сохранения природных ресурсов»	338
--	-----

АННОТАЦИИ НОВЫХ КНИГ	340
-----------------------------------	-----

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	342
----------------------------------	-----

CONTENTS

FLORA AND SYSTEMATICS

<i>V. N. Lebedko, I. I. Shimko</i> Primary Investigation Data of Species Taxonomic Diversity of the Genus <i>Ranunculus</i> L. of <i>Ranunculus</i> Sections at the Territory of Vitebsk Region	11
<i>K. L. Savitskaya, M. A. Dzhus</i> White-flowered Poppy (<i>Papaver albiflorum</i> (Elkan) Pacz., <i>Papaveraceae</i>) – a New Alien Species for the Belarus Flora	18
<i>N. V. Samokhvalova, A. N. Mialik, T. G. Shlapakova, A. V. Kruchonok</i> Evaluation of Genetic Variability of <i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br. Populations in Belarus Using Molecular iPBS Markers	28

PHYTOCENOLOGY

<i>D. G. Grummo, N. A. Zelenkevich</i> Phytoindication Mapping: Theoretical Aspects of Method and Application in Natural Ecosystem Monitoring	38
<i>A. Yu. Komar, O. V. Sozinov</i> Drained Scots Pine Forests Syntaxonomic Diversity of Naliboksky Reserve	71
<i>E. V. Spirydovich, N. B. Vlasava, E. D. Agabalaeva, D. V. Dubovik, A. N. Skuratovich, D. Miller, M. Kost, Yu. K. Vinogradova, V. N. Reshetnikov</i> Influence of <i>Rhamnus cathartica</i> L. on the Species Abundance and Structure of Plant Communities in Belarus and in the Regions of the Middle West of the USA	87
<i>L. I. Starikova, M. V. Yermokhin, A. V. Pugachevsky, V. S. Ivkovich</i> Dynamics of the High-age Stands of Silver Birch (<i>Betula pendula</i> Roth.) Structure in the Berezinsky Biosphere Reserve	100
<i>D. V. Tatarnikov</i> Dynamic of Old-growth Pine Forest Structure for 70-year Monitoring Period	114

NATURAL PLANT COMPLEXES ECOLOGY

<i>A. M. Mialik, M. M. Dashkevich, V. A. Galuc</i> Native Plants Species Peculiarities of Heavy Metals Accumulation in Overground Phytomass in the Belarusian Polesie Conditions	123
<i>A. V. Sudnik</i> Creation and Maintenance Features of Protective Snow-retaining Plantings along Roads	134
<i>A. V. Uhlianets, D. K. Garbaruk</i> Assessment of the Forest Combustible Materials Reserve in the Oak Forests Components in the Chernobyl Nuclear Power Plant near Zone and the Content of ¹³⁷ Cs and ⁹⁰ Sr in them	143
<i>Ya. S. Shavalda, A. V. Sudnik, N. S. Yushin, I. I. Zinicovskaia, M. V. Frontasyeva</i> The Heavy Metals Soils Pollution of the Right-of-way Highways in the Minsk Region	155

MYCOLOGY AND PHYTOPATOLOGY

<i>V. B. Zviagintsev, D. B. Belometsiacheva, A. G. Pinchuk, A. D. Telesh, E. R. Voloshina</i> Modeling the Quarantine Pests Distribution Areas (Case Study – Oomycete <i>Phytophthora alni</i> Brasier et S.A. Kirk)	167
---	-----

<i>S. I. Koriniak</i> Phytopathogenic Dematiaceous Hyphomycetes in the Oak Forests of National Reserve «Vydritsa»	176
<i>Y. V. Rakhimova, L. A. Kyzmetova, F. Cypabekkyzy, A. M. Assylbek</i> Species Composition and Distribution of the Genus <i>Pleospora</i> Rabenh. (<i>Ascomycota</i>) in the Southeast of Kazakhstan	182
<i>N. V. Sinchuk, S. V. Buga</i> Nature of the Damage to the Leaf Blades of <i>Populus x berolinensis</i> Dippel. by the Larvae of Poplar Moth <i>Phyllonorycter populifoliella</i> in Vitebsk and Minsk	193
<i>A. K. Khramtsov, V. D. Poliksenova, I. A. Fiadziushka, S. G. Sidorova, I. S. Hirilovich, N. A. Lemeza</i> Phytopathogenic Micromycetes Alien to Belarus on Some Useful Plants	203

PLANTS PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

<i>N. A. Laman, A. W. Usik, Z. M. Anisova, A. N. Griz, E. N. Oleshuk, M. M. Sak</i> The Methods to Limit the Distribution and Eradicate of Invasive Goldenrod (<i>Solidago canadensis</i> L.)	213
<i>N. A. Yaloukaya, J. N. Kalatskaja, N. A. Laman, V. V. Nikalaichuk, K. S. Hileuskaya, V. I. Kulikovskaya, R. P. Zakirova, S. M. Turaeva</i> Growth Characteristics and Osmotic Stress Resistance of Potato Microclones (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Treated with Chitosan and Ferulic Acid <i>in vitro</i> Culture	225
<i>E. N. Karasiova, R. I. Lukashou</i> The Biologically Active Substances and their Antioxidant Activity in the <i>Dioscorea alata</i> L. Leaves	236
<i>E. N. Karasiova</i> Root Environment Optimization of <i>Dioscoreae alata</i> L. in the Orangery Cultivation	244
<i>K. R. Kem, N. A. Laman, V. A. Khripach, E. V. Chereukhina</i> The Effect of Brassinosteroid-containing Composition on the Formation of Fiber Flax (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Productivity Elements and the Quality of Fiber	247
<i>T. N. Kudelina, E. A. Maslyukov, O. V. Molchan</i> Growth Processes in Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Plants by Different Red / Blue Ratios in Full-spectral and Low Intensity Led-lighting	253
<i>I. A. Mashkin, V. P. Shukanov, E. V. Melnikowa, L. A. Korytsko, S. N. Polyanskaya</i> The Effect of Waste Chemical Destruction Peat (Waste) Production of Oxyhumat on the Growth of Seeds and Seedlings of Pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	260
<i>O. V. Molchan, T. N. Kudelina, L. F. Kabashnikova, A. G. Soldatov</i> Modification of the Photosystem II Functional Activity under Infiltration of <i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh. leafs by Multi-walled Carbon Nanotubes	267
<i>Zh. A. Rupasova, K. A. Dobryanskaya, N. B. Pavlovsky, O. V. Drozd, V. S. Zadalja, P. N. Bely, E. I. Kolomiets, Z. M. Aleshchenkova, M. N. Mandrik-Litvinkovich</i> Influence of Fungicidal Active Products on the Fruit <i>Vaccinium corymbosum</i> L. Bioflavonoid Complex within the Belarus Settings	274
<i>V. S. Statkevich, R. I. Lukashou</i> Coumarins Chromatographic Analysis in the Hogweed Sosnovsky (<i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.) Plant Organs	282
<i>V. A. Tsiarletsкая, R. I. Lukashou</i> Study of the Biologically Active Substances Composition in the Herb of Genus <i>Lamium</i> L. Species	294

BOTANICAL COLLECTIONS

<i>A. A. Svirid, V. N. Kavtsevich</i> Collection of Diatoms Algae from the Berezinsky Biospheric Reserve Lakes	301
---	-----

BOTANICAL DISCOVERIES*D. V. Dubovik, S. S. Savchuk, A. N. Skuratovich, V. N. Lebedko*

New Materials for the Distribution of Some Rare Species and Hybrids of Vascular Plants in Belarus 306

JUBILEE

Olga Stepanovna GAPIENKO (75th Anniversary) 313

Svetlana Anatolyevna NOVIK (70th Anniversary) 314

Dmitry Ivanovich TRETYAKOV (70th Anniversary) 316

MEMORABLE DATES

The 140th Anniversary of Mikhail Petrovich TOMIN (1883–1967) 317

Scientist, Patriot, Citizen: on the 120th Anniversary of Academician Nikolai Dmitrievich
NESTEROVICH (1903–1984) 320

Ivan Andreevich KAUROV, the 100th Anniversary (1923–1994) 323

Natalia Vitalievna KOZLOVSKAYA, the 100th Anniversary (1923–1991) 325

Leonid Petrovich SMOLYAK, the 100th Anniversary (1923–1995) 327

Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Evgeniy Antonovich
SIDOROVICH, the 95th Anniversary (1928–2017) 328**OBITUARY**

Svetlana Iosifovna BELSKAYA (1937–2023) 332

Ivan Ivanovich LISHTVAN (1932–2023) 334

Anatoly Semenovich MEEROVSKY (1936–2023) 336

CHRONICLEInternational scientific and practical seminar “Scientific basis for maintaining flora cadasters for the
sustainable use and natural resources conservation purpose” 338**NEW BOOKS DESCRIPTIONS** 340**REQUIREMENTS FOR AUTHORS** 342

ФЛОРА И СИСТЕМАТИКА FLORA AND TAXONOMY

УДК 582.652.3.082(476.5)

В. Н. ЛЕБЕДЬКО¹, И. И. ШИМКО²

ДАННЫЕ ПЕРВИЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ВИДОВ РОДА *RANUNCULUS* L. СЕКЦИИ *RANUNCULUS* С ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: vladmir.flora@yandex.by

²Витебская государственная академия ветеринарной медицины, Витебск, Беларусь,
e-mail: shimkotl@mail.ru

Аннотация. Приведены предварительные результаты исследования видов рода *Ranunculus* L. секции *Ranunculus*, собранных на территории Витебской области и хранящихся в гербарной коллекции Витебской государственной академии ветеринарной медицины. Выявлено 25 микровидов рода *Ranunculus* L., которые существенно дополняют список флоры Беларуси. Большинство микровидов впервые приводится для территории Витебской области, а *R. dvinensis* V. Lebedko nom. prov. – планируется к описанию как новый для науки вид.

Ключевые слова: гербарий, микровиды, род *Ranunculus* L., секция *Ranunculus*, Витебская область, флора Беларуси, Восточная Европа, Верхне-Днепровский район, Псковская область.

V. N. LEBEDKO¹, I. I. SHIMKO²

PRIMARY INVESTIGATION DATA OF SPECIES TAXONOMIC DIVERSITY OF THE GENUS *RANUNCULUS* L. OF *RANUNCULUS* SECTIONS AT THE TERRITORY OF VITEBSK REGION

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: vladmir.flora@yandex.by

²Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Belarus, e-mail: shimkotl@mail.ru

Annotation. The results of studies of the species of the genus *Ranunculus* L. *Ranunculus* section collected on the Vitebsk region territory and stored in the herbarium collection of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine presented. 25 microspecies of the genus *Ranunculus* L. were revealed, that would significantly complement the list of flora of Belarus. Most of the microspecies given for the first time of the Vitebsk region, and *R. dvinensis* V. Lebedko sp. nova. is the first a species described for science.

Keywords: herbarium, micro-species, genus *Ranunculus* L., section *Ranunculus*, Vitebsk region, flora of Belarus, Eastern Europe, Verkhne-Dneprovsky district, Pskov region.

ВВЕДЕНИЕ

Виды рода *Ranunculus* L. не имеют большого практического значения в хозяйственной деятельности. Среди них нет пищевых и очень малый процент кормовых растений. Свежая трава многих видов этого рода является ядовитой, хотя при заготовке кормов ядовитые свойства растений в

значительной степени не проявляются. Некоторые виды рода лютик используются в народной и ветеринарной медицине как лекарственные растения [1–3]. Представители рода вызывают большой научный интерес, в первую очередь, из-за внутривидовой дивергенции, высокой степени

полиморфизма, что обусловлено результатом процесса гибридизации, а также наличием большого числа апомиксов.

Лютики не являются эдификаторами, однако их фитоценотическая роль все же довольно значительна – многие виды являются частыми составляющими естественного растительного покрова Беларуси. Отдельные виды могут быть сорняками полей (*R. repens* L. (повсеместно), *R. sardous* Crantz (преимущественно в южных и юго-западных районах Беларуси), в какой-то степени *R. acris* L. (повсеместно) [4].

Микровиды секции *Ranunculus* рода *Ranunculus* L. являются крайне сложными в определении их видовой принадлежности. Они не в полной мере изучены во многих европейских странах, особенно Восточной Европы. Для Северо-Запада Российской Федерации (Псковская, Ленинградская, Новгородская) – территории, относительно хорошо изученной в данном отношении, приводится 54 вида рассматриваемой секции [4, 5].

Для флоры Псковской области Российской Федерации из секции *Ranunculus* приводится 24 микровида, из них 3 – с сомнениями в определении [6]. Во «Флоре Восточной Европы» для Верхне-Днепровского района (это не только территория

Республики Беларусь, но и часть Российской Федерации) указывается 19 видов [7].

Начало изучения лютиков в Беларуси на уровне микровидов было положено Т. В. Симон. В ее опубликованной совместно с Д. В. Дубовиком работе «К вопросу изучения представителей подсекции *Cassubici* Tzvel. секции *Ranunculus* во флоре Беларуси» [8] приводится список, включающий 21 вид из 2-х агрегатов. Часть видов выделена на основании образцов, определенных Н. Н. Цвелевым, который просматривал гербарный материал из Беларуси (MSK, MSKU). Некоторые из этих видов не приводятся для флоры Восточной Европы. Что же касается видов агрегата *R. aggr. auricomus* L., то по ним периодически появлялись лишь единичные сведения. Так, в кандидатской диссертации Д. В. Дубовика приводится несколько видов этого агрегата: *R. brunescens* (Markl.) Ericss., *R. leptomeris* Haas, *R. ostrobotnicus* (Markl. ex Kvist) Ericss., *R. phragmiteti* Haas. (сомнительный таксон, вероятно следует отождествлять с *R. auricomus* L. s. str.) и *R. pseudoacris* Tzvel. [9]. В то же время обобщающая публикация по лютикам секции *Ranunculus* (конкретно по северной части страны) до настоящего времени отсутствует.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение апомиктических микровидов из секции *Ranunculus* требует многочисленного, качественно собранного материала. Предпочтительно собирать по несколько особей предполагаемого вида с одного и того же места произрастания, так как в популяции может наблюдаться, в разной степени, его изменчивость (особенно это касается формы, размера, зубчатости прикорневых и стеблевых листьев). Важно собирать растения в фазе развития «конец цветения – начало плодоношения», так как при определении таксонов большую роль играет наличие или отсутствие чешуевидных листьев у основания побегов (хотя у некоторых особей к концу цветения они все же могут разрушаться), форма и степень рассеченности пластинок прикорневых листьев, форма и край сегментов нижних стеблевых листьев, степень развитости венчика (все лепестки-нектарники в цветке развиты; частично развиты; почти все не развиты), степень опушения цветоложа (густо опушенное; опушенное; рассеянно опушенное; с единичными волосками; голое), форма и размер карпеллофор [7, 10].

Объектами настоящего исследования являлись сложные в таксономическом отношении микровиды секции *Ranunculus* рода *Ranunculus* L. Сбор растений проводился в различных растительных

сообществах: луговых, лесных, опушечных, прибрежно-водных (пойменные луга) Витебской области. Для сбора особей ориентировались, следуя ключам в определителях (4,5), на морфологические отличия видов данной секции, которые можно заметить в природных условиях. При сборе материала отдавалось предпочтение видам с редко встречаемыми признаками. Это было связано с вероятностью обнаружения в первую очередь новых таксонов, установлением характера их распространения и частоты встречаемости.

В статье приводятся все местонахождения видов секции *Ranunculus*, имеющих в гербарной коллекции Витебской государственной ветеринарной академии. Сбор всего материала проведен сотрудником академии, старшим преподавателем И. И. Шимко. На данное время гербарий, собранный И. И. Шимко в 1990–2023 гг., хранится в Учреждении образования «Витебская орденна «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», где в 2023 году было выделено помещение для хранения коллекции. Гербарий используется в научных и учебных целях, а также для работы студентов в рамках научно-исследовательских проектов (НИРС).

Таксономическая идентификация материала выполнена преимущественно В. Н. Лебедько,

имеющим многолетний опыт детальной работы с определителями и ключами рода *Ranunculus* при подготовке материалов к изданию очередного тома «Флора Беларуси». Идентификации подверглись многочисленные и разнообразные материалы сборов с территории Витебской обла-

сти. Для более объективного рассмотрения микровидов Витебской области проведен по работам [6,7] анализ видового состава лютиков Псковской области России, а также использованы материалы гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате полевых исследований видов рода *Ranunculus* L. секции *Ranunculus*, собранных И.И. Шимко на территории Витебской области, определен ряд микровидов рода *Ranunculus* L. (табл. 1), список и места произрастания которых приводятся ниже:

Ranunculus auricomus L. s. l.
(=*R. aggr. auricomus* L.)

***Ranunculus amblyodon* (Markl.) Ericss.** – **Лютик тупозубчатый.** Верхнедвинский р-н: остров на оз. Освейское; сырые осинники и ивняки; № 4270 «К»; окр. д. Суколи; заболоченные черноольшаники и березняки; № 4270 «Д»; Глубокский р-н, окр. ж.-д. ст. Зябки, ~ 0,5 км в направлении ж.-д. ст. Полевачи, слева; по краю заболоченного сероольшаника и ивняка; замшелый сыроватый луг; № 4182 «А»; Докшицкий р-н, окрестности д. Болтрамеевцы Парафьяновского с-с; вблизи поймы р. Зуйка; на сенокосном ксеромезофильном лугу; № 4175.

***Ranunculus auricomus* L.** – **Лютик золотистый.** Браславский р-н: территория НП «Браславские озера», остров «Лакино» на оз. Снуды; осоковые сообщества в пойме; изредка; № 4298; Верхнедвинский р-н: окр. д. Суколи; заболоченные черноольшаники и березняки; № 4270 «Г»; сыроватый луг в пойме оз. Освейское; № 4270 «Е»; остров на оз. Освейское; сыроватые луговины; № 4270 «В»; № 4270 «Ж»; остров на оз. Освейское; сырые осинники и ивняки; № 4270 «И»; Витебский р-н: окр. д. Мазолово (~ 2 км в направлении поселка Лужесно по р. Лужеснянка); сыроватые участки на пойменном лугу; № 5240; Витебский р-н, окр. д. Орехово, вблизи территории ботанического заказника «Чертова борода»; на границе луга и сероольшаника по склону к оврагу; № 5240; окр. ж.-д. ст. Княжица (~ 1 км в направлении ст. Летцы); на сыроватом лугу в пределах полосы отчуждения ж.-д.; № 4388; Глубокский р-н, окрестности ж.-д. ст. Зябки (~ 0,5 км в направлении ст. Полевачи, слева); по краю заболоченного сероольшаника и ивняка; замшелый сыроватый луг; № 4188; 4188 «А»; Городокский р-н, окрестности ж.-д. ст. Залучье; в сыром березняке среди крупноосокового

болота; № 2074; Докшицкий р-н, окрестности д. Поляне Парафьяновского с-с; на сыроватой замшелой закустаренной поляне среди елово-березового леса; № 4172; Сенокосный мезоксерофильный луг; по микроразнообразиям; № 4172.

***Ranunculus dvinensis* V. Lebedko nom. prov.** – **Лютик двинский.** Витебский р-н, окр. д. Сокольники, по р. Лужеснянка к д. Мазолово; пойменный луг; № 4209. *Ranunculus dvinensis* V. Lebedko sp. nova (holotypus).

***Ranunculus haasii* Soó (= *R. decorus* (Marcl. Ex Fagerstr.) Ericss.).** – **Лютик Хааса.** Верхнедвинский р-н, остров на оз. Освейское; сырые осинники и ивняки; № 4270 -1; Полоцкий р-н, окр. ж.-д. ст. Сосница; на сыроватых луговинах в пределах защитных ж.-д. полос; № 2048.

***Ranunculus lepidus* (Markl.) Ericss.** – **Лютик чешуеносный.** Витебский р-н, окр. д. Сокольники, по р. Лужеснянка к д. Мазолово; пойменный луг; № 4215; окр. д. Шевино (~ 1 км от истока реки из оз. Шевинское); территория ботанического заказника «Придвинье»; пойменный сыроватый лихосохвостово-таволгово-разнотравный луг; № 4383; окр. д. Орехово, вблизи территории ботанического заказника «Чертова борода»; на границе луга и сероольшаника по склону к оврагу; № 5244; окр. г. Витебска, район Билево-3, лес – напротив; в елово-широколиственном лесу; черноольс; среди ельника у временного ручья; № 4215.

***Ranunculus marklundii* (Nannf. et Julin) Ericss.** – **Лютик Марклунда.** Витебский р-н, окр. г. Витебск, район Билево-3; лес напротив, за Билевским зоопарком, у трассы на Лиозно. На опушке елово-широколиственного леса (старые дубы, примесь вяза, клена, ясеня). Высокотравные заболоченные луговины в переходной полосе от трассы к лесу; № 11/21.

***Ranunculus oligandrus* (Markl.) Ericss.** – **Лютик немногочетковый.** Верхнедвинский р-н, остров на оз. Освейское; сыроватые луговины. № 4270 «А»; остров на оз. Освейское; сыроватые луговины; № 4270 «Б»; Сенненский р-н, окр. д. Мосяйки, вблизи долины р. Мерейшанка (приток р. Оболянка) вблизи д. Оболь; закустаренный сырой луг; № 4359.

Таблица 1. Список видов секции *Ranunculus* рода *Ranunculus* для Витебской и Псковской областей

Table 1. The species' taxonomic diversity of *Ranunculus* section *Ranunculus* of Vitebsk and Pskov regions district

№ п/п	Вид	Витебская область	Псковская область
<i>Ranunculus</i> aggr. <i>altior</i> Markl.			
1 (1).	<i>R. euryphyllarius</i> (Markl.) Ericss.	+	-
2 (2).	<i>R. orbicans</i> (Markl.) Ericss.	+	-
<i>Ranunculus</i> aggr. <i>auricomus</i> L.			
3 (1).	<i>R. amblyodon</i> (Markl.) Ericss.	+	+
4 (2).	<i>R. auricomus</i> L.	+	+
5 (3).	<i>R. binatus</i> Kit. ex Reichenb.	-	+?
6 (4).	<i>R. brunnescens</i> (Markl.) Ericss.*	+	+
7 (5).	<i>R. dvinensis</i> V. Lebedko sp. nova.	+	-
8 (6).	<i>R. haasii</i> Soó	+	-
9 (7).	<i>R. lepidus</i> (Markl.) Ericss.	+	+
10 (8).	<i>R. marklundii</i> (Nannf. et Julin) Ericss.	+	-
11 (9).	<i>R. obtusulus</i> Markl.	-	+
12 (10).	<i>R. oligandrus</i> (Markl.) Ericss.	+	-
13 (11).	<i>R. ostrobottnicus</i> (Markl. ex Kvist) Ericss.*	+	+
14 (12).	<i>R. pullus</i> (Markl.) Ericss.*	+	+
15 (13).	<i>R. puringii</i> Tzvel.	-	+
16 (14).	<i>R. rotundellus</i> (Markl.) Ericss.	+	-
17 (15).	<i>R. spissidens</i> (Markl. ex Fagerster.) Ericss.	+	-
18 (16).	<i>R. stenodon</i> (Markl.) Ericss.	+	-
<i>Ranunculus</i> aggr. <i>cassubicus</i> L.			
19 (1).	<i>R. angustior</i> (Markl.) Ericss.	+	-
20 (2).	<i>R. archangeliensis</i> (Fagerstr.) Ericss.	+	-
21 (3).	<i>R. cassubicifolius</i> W. Koch	+	-
22 (4).	<i>R. cassubicus</i> L.	+	+
23 (5).	<i>R. cirtinatifrons</i> (Markl.) Ericss.	+	+
24 (6).	<i>R. elatior</i> (Fries) Ericss.	+	+
25 (7).	<i>R. hannaе</i> Jasiew.	+	-
26 (8).	<i>R. imitans</i> (Markl.) Ericss.	-	+
27 (9).	<i>R. inopinus</i> (Markl.) Ericss.	+	+
28 (10).	<i>R. karelicus</i> (Markl.) Ericss.	-	+?
29 (11).	<i>R. tranzschelii</i> (Fagerstr.) Ericss.	+	+
<i>Ranunculus</i> aggr. <i>fallax</i> (Wimm. et Grab.) Schur			
30 (1).	<i>R. antygophyllus</i> (Markl.) Ericss.	+	-
31 (2).	<i>R. gregalis</i> (Markl.) Ericss.	+	-
32 (3).	<i>R. fagerstroemii</i> (Markl.) Ericss.	-	+
33 (4).	<i>R. quadrivaginatус</i> (Valta) Ericss.	-	+
34 (5).	<i>R. kalinensis</i> Jasiew.	-	+
35 (6).	<i>R. mesidius</i> (Markl.) Ericss.	+	-
36 (7).	<i>R. nemoricola</i> (Markl.) Ericss.	+	-
37 (8).	<i>R. prionodes</i> (Markl.) Ericss.	+	+
38 (9).	<i>R. scotinus</i> (Markl.) Ericss.	-	+
39 (10).	<i>R. validus</i> (Markl.) Ericss.	-	+
40 (11).	<i>R. viburgensis</i> (Markl.) Ericss.*	+	+
41 (12).	<i>R. zmudae</i> Jasiew.	-	+
Всего		30	24

Примечание: * – виды, приведенные по данным MSK.

Ranunculus rotundellus (Markl.) Ericss. – **Лютик кругловатый**. Витебский р-н, окр. д. Мазолово, ~ 1,5 км в направлении ст. Лужесно по р. Лужеснянка. На границе поля и сероольшаника крапивно-злакового по берегу реки (левобережье); № 4216.

Ranunculus spissidens (Marc. ex Fagerster.) Ericss. – **Лютик густозубчатый**. Верхнедвинский р-н, остров на оз. Освейское. Сыроватые луговины; № 4270; Витебский р-н, окр. д. Шевино (~ 1 км от истока реки из оз. Шевинское); территория ботанического заказника «Придвинье»; пойменный сыроватый лисохвостово-таволгovo-разнотравный луг; № 4384.

Ranunculus stenodon (Markl.) Ericss. – **Лютик узкозубчатый**. Витебский р-н, окр. г. Витебск, район Билево-3. Сырой еловый лес, у ручья и по заболоченным луговинам. Примечание. Не исключено, что этот вид следует причислять к *R. aggr. altior* Markl. Однако, этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Ranunculus altior Markl. s. l.
(=*R. aggr. altior* Markl.)

Ranunculus euryphyllarius (Markl.) Ericss. – **Лютик широколисточковый**. Глубокский р-н, окрестности ж.-д. ст. Кульгаи; в вязово-осиновом лесу с березой на мокрых участках по краю лесного болота; № 2019.

Ranunculus orbicans (Markl.) Ericss. – **Лютик закругленный**. Витебский р-н: окрестности г. Витебска, недалеко от областной клинической больницы; на вырубке в ивняке с черемухой у ручья (сыроватый участок); № 4153; окр. ж.-д. ст. Лучеса, вблизи моста через р. Лучеса (~ 0,5 км против течения реки, слева (правобережье реки)); на сыроватом лугу в долине р. Лучеса (на границе сероольшаника на береговом склоне и поля); № 4157; в сероольшанике снытевом с лещиной; № 4156.

Ranunculus fallax (Wimm. et Grab.) Shur s. l.
(=*R. aggr. fallax* (Wimm. et Grab.) Shur.)

Ranunculus antygyphyllus (Markl.) Ericss. – **Лютик тавастинский**. Витебский р-н, окр. д. Сокольники, по р. Лужеснянка к д. Мазолово; пойменный луг; № 4207.

Ranunculus gregalis (Markl.) Ericss. – **Лютик групповой**. Лиозненский р-н, окр. д. Добромысли, кв. 70, 71 Добромыслянского л-ва; в пойме ручья; язовник снытевый с елью, осиною, кленом, дубом; № 4138 «В».

Ranunculus mesidius (Markl.) Ericss. – **Лютик промежуточный**. Полоцкий р-н, участок ж.-д.

ст. Фомино – ст. Горяны; на сыроватых луговинах в пределах защитных ж.-д. полос; № 2026.

Ranunculus nemoricola (Markl.) Ericss. – **Лютик лесистый**. Докшицкий р-н, окр. ж.-д. ст. Крулевщизна, ~ 2,5 км в направлении ст. Замоще Глубокского р-на; в лесном массиве справа от ж.-д. полотна; в болотистом осиновом лесу; № 6549.

Ranunculus prionodes (Markl.) Ericss. – **Лютик пильчатый**. Витебский р-н, окр. ж.-д. ст. Лучеса (кольцевая ж. д. к г. Витебску); высокий склон оврага к ручью; в сероольшанике снытевом с лещиной. № 4156 «А»; Витебский р-н, окр. д. Сокольники, по р. Лужеснянка к д. Мазолово; пойменный закустаренный луг; № 4208.

Ranunculus cassubicus L. s. l.
(=*Ranunculus aggr. cassubicus*)

Ranunculus angustior (Markl.) Ericss. – **Лютик узкоосегментный**. Витебский р-н, окр. ж.-д. ст. Лучеса (кольцевая ж. д. к г. Витебску); высокий склон оврага к ручью; в сероольшанике снытевом с лещиной; № 4155; Докшицкий р-н, окр. ж.-д. ст. Крулевщизна, ~ 1 км в направлении ст. Замоще Глубокского р-на; в лесном массиве справа от ж.-д. полотна; сыроватый осинник снытевый с лещиной; № 4432.

Ranunculus archangeliensis (Fagerstr.) Ericss. – **Лютик архангельский**. Верхнедвинский р-н, окрестности п. г. т. Освея; парк (бывшая панская усадьба); в ясеннике снытевом с липой, вязом, осиною, дубом; № 4250.

Ranunculus cassubicifolius W. Koch – **Лютик кашубсколистный**. Витебский р-н, окр. д. Орехово, ботанический заказника «Чертова борода»; на глубоких склонах оврага к ручью; в широколиственном лесу снытевого типа (вяз, ясень, липа, клен, лещина, жимолость, бересклет бородавчатый). № 4167; Дубровенский р-н, окрестности д. Поселок №7 (~ 4 км к СВ); в сероольшаниках, березняках и липняках снытевых по крутым береговым склонам р. Верхита; № 3360; 3368-1; Докшицкий р-н, окрестности д. Болтрамеевцы (~ 1–2 км к Ю) Парафьяновского с.с.; вблизи поймы р. Зуйка; в березняках, осинниках снытевых, черноольшаниках крапивно-снытевых; в напочвенном покрове неморальное разнотравье; № 4180 «А»; «Б».

Ranunculus cassubicus L. – **Лютик кашубский**. Верхнедвинский р-н, окрестности д. Сарья, Сарьянский парк; в долине р. Сарьянка; лиственный снытевый лес; Городокский р-н, окр. д. Веречье; сыроватый лиственный лес с елью в долине р. Овсянка. № 4199 «А»; «Г»; «Ж»; Сенненский р-н, окр. д. Андрейчики; в сыром еловом лесу вдоль ручья; № 2269.

***Ranunculus cirtinatifrons* (Markl.) Ericss. – Лютик заходящелопастной.** Верхнедвинский р-н, окрестности д. Сарья, Сарьянский парк; в долине р. Сарьянка; лиственный снытевый лес; № 4273 «Г»; Витебский р-н, окр. д. Билево (~ 4 км к ВЮВ); в дубраве снытевой; № 3410; окр. ж.-д. ст. Лучеса; в сероольшанике снытевом с лещиной, жимолостью, бересклетом бородавчатым на овражных склонах к ручью (впадает в р. Лучеса); № 4154; окр. д. Мазолово, р. Лужеснянка; в сероольшанике снытевом на береговом слоне; № 4206; Глубокий овраг, поросший вязом, ольхой серой (снытевые типы леса). На дне оврага среди осокового разнотравья; № 4212; Глубокий р-н, ~ 4 км от д. Ивесь по дороге к трассе на Ушачи; в пойме лесного ручья (р. Шоша); сырой березняк с липой и лещиной; № 3589; окр. ж.-д. ст. Зябки; лесной массив у станции слева от ж.-д. полотна в направлении ст. Полевачи; ясенники и осинники снытевые с березой, черемухой, елью, лещиной, рябиной, жимолостью, бересклетом европейским кленом, дубом; № 4193 «Б»; «В»; «Е»; «Ж»; «З»; Городокский р-н, окр. д. Веречье; сыроватый лиственный лес с елью в долине р. Овсянка. № 4199 «Б»; «В»; «Д»; Докшицкий р-н, окрестности д. Болтрамеевцы (~ 1-2 км к Ю) Парафьяновского с-с. Вблизи поймы р. Зуйка; в березняках, осинниках снытевых, черноольшаниках крапивно-снытевых; в напочвенном покрове неморальное разнотравье; № 4179 «А»; «В»; «Д»; «Е»; «Г»; «К»; № 4177 «Б»; «Г»; «Д»; «Е»; «Ж»; «З»; «И»; «Л»; «М»; «Н»; «П»; «Р»; № 4178 «А», «В»; Лиозненский р-н, окр. д. Добромисли. Кв. 47, выдел 17, 18 Добромислянского л-ва; в пойме ручья; вязовник снытевый, крапивно-снытевый; № 4150 «А»; 4140 «В»; № 4150 «Д».

***Ranunculus elatior* (Fries) Ericss. – Лютик возвышающийся.** Витебский р-н, окр. д. Вальки; торфяное болото «Гладанский мох»; краевая зона болота; в сырых березняках и осинниках, по опушкам; № 3159; окр. ж.-д. ст. Лучеса (кольцевая ж. д. к г. Витебску); высокий склон оврага к ручью; в сероольшанике снытевом с лещиной. № 4155-1; участок ж. д. ст. Княжица – ст. Летцы, у д. Большие Летцы; на склоне к ж.-д. полотну; № 4389; Докшицкий р-н, окрестности д. Болтрамеевцы (~ 1-2 км к Ю) Парафьяновского с-с; вблизи поймы р. Зуйка; в березняках, осин-

никах снытевых, черноольшаниках крапивно-снытевых; в напочвенном покрове неморальное разнотравье; № 4181 «Б»; «Ж»; «З»; «И»; Глубокий р-н, окрестности ж.-д. ст. Кульгаи; в сыром вязово-осиново-ясеневом лесу; № 2021; 2023; окр. ж.-д. ст. Зябки; лесной массив у станции слева от ж.-д. полотна в направлении ст. Полевачи; ясенники и осинники снытевые с березой, черемухой, елью, лещиной, рябиной, жимолостью, бересклетом европейским кленом, дубом; № 4193 «А»; «Г»; «Д»; Дубровенский р-н, окрестности д. Поселок №7 (~ 4 км к СВ); по краю заболоченного участка в пойме р. Верхита; в черноольшанике; № 3397; № 3368.

***Ranunculus hannaе* Jasiew. – Лютик Ганны.** Витебский р-н, окр. д. Орехово, ботанический заказника «Чертова борода»; на глубоких склонах оврага к ручью; в широколиственном лесу снытевого типа (вяз, ясень, липа, клен, лещина, жимолость, бересклет бородавчатый). № 4167; 4166 (большинство экземпляров *R. hannaе*; вероятно, есть и *R. cirtinatifrons*; Лебедько В.Н.).

***Ranunculus inopinus* (Markl.) Ericss. – Лютик неожиданный.** Верхнедвинский р-н, окрестности д. Сарья; Сарьянский парк; в долине р. Сарьянка; лиственный снытевый лес. № 4273 «А»; «В»; «Д»; Витебский р-н, окр. д. Орехово; ботанический заказника «Чертова борода»; на глубоких склонах оврага к ручью; в широколиственном лесу снытевого типа (вяз, ясень, липа, клен, лещина, жимолость, бересклет бородавчатый); № 4166-1; ясенники и березняки снытевые и осоковые (*Carex pilosa*) на склонах холмов и оврага к ручью; № 4165; Лиозненский р-н, окр. д. Добромисли, кв. 47, выдел 17, 18 Добромислянского л-ва; в пойме ручья; вязовник снытевый, крапивно-снытевый; № 4150 «А»; «В»; «С»; кв. 70, 71 Добромислянского л-ва.

***Ranunculus tranzschelii* (Fagerstr.) Ericss. – Лютик Траншеля.** Городокский р-н, участок ж.-д. ст. Залучье – ст. Ботали; на сыроватой луговине по опушке лиственного леса; № 2076.

Результаты сравнительного анализа таксономического разнообразия микровидов секции *Ranunculus*, выявленных нами на территории Витебской области и приведенных для Псковской области Российской Федерации см. в табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нами на данный момент выявлено 25 микровидов из четырех групп (в более широком их понимании) секции *Ranunculus*, собранных на территории Витебской области:

– ***Ranunculus aggr. altior* Markl.** – 2 микровида. Из них: *R. orbicans*, вероятнее всего, встречается очень редко, отмечен лишь в Витебском р-не, а *R. euryphyllarius* – редко, но, вероятно, по

всей территории Витебской области. Для Верхне-Днепровского района оба этих таксона ранее не приводились.

– *Ranunculus aggr. auricomus* L. – 10 микро-видов. Наиболее обычными и более массовыми среди них следует считать *R. auricomus*, *R. amblyodon* и *R. lepidus*. *R. dvinensis* будет описан Лебедевко В.Н. как новый для науки вид. Распространение других видов этой группы требует дальнейшего изучения. Для Псковской области указывается 9 микровидов, а для Верхне-Днепровского – 6. Для этих регионов не указываются такие виды как *R. marklundii*, *R. oligandrus*, *R. spissidens*, *R. stenodon*, выявленные на территории Витебской области.

– *Ranunculus aggr. cassubicus* L. – 9 микро-видов. Из них, вероятнее всего, более обычными видами следует считать *R. angustior*, *R. cassubicifolius*, *R. cirtinatifrons* и *R. elatior*. Довольно редким видом является *R. hannaе*; крайне редким видом, встречающимся лишь в западных районах Витебской области – *R. tranzschelii*; вероятно заносным с парковыми травосмесями и встречающимся крайне редко в старых парках – *R. archangeliensis*. Для флоры Псковской области указывается 8 видов, для Верхне-Днепровского района также 8 видов.

– *Ranunculus aggr. fallax* (Wimm. et Grab.) Schur – 5 микровидов. Виды этой группы, вероятно, встречаются редко или крайне редко и для Псковской области и Верхне-Днепровского района практически не указываются. Лишь *R. prionodes* приводится для Псковской области.

Этот материал позволит существенно дополнить уже имеющиеся данные по видовому составу и распространению лютиков в северной части страны. Исследований подобного рода в Республике Беларусь проводилось крайне мало, а виды секции *Ranunculus* во флоре Витебской области и вовсе были практически не изучены. Материалы исследований будут использованы для подготовки очередного тома фундаментального издания «Флора Беларуси. Сосудистые растения» и изучения характера распространения микровидов секции *Ranunculus* не только на территории Витебской области, но и на всей территории Республики Беларусь и стран Европы. Использование полученных материалов в процессе картографирования позволят более детально изучить фитоценоотическую приуроченность и экологическую значимость микровидов секции *Ranunculus*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ботаника: учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1 – 74 03 05 «Ветеринарная фармация» / Н. П. Лукашевич [и др.]. – Витебск: ВГАВМ, 2018 г. – 172 с.
2. Журба, О. В. Лекарственные, ядовитые и вредные растения: учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. завед. – Москва: Колос, 2005. – 512 с.
3. Липницкий, С. С. Фитотерапия в ветеринарной медицине / С. С. Липницкий. – Минск: Беларусь, 2006. – 286 с.
4. Определитель высших растений Беларуси: учебное пособие для студентов вузов по биологическим специальностям / Т. А. Сауткина [и др.]; ред. В. И. Парфенов; Национ. акад. наук Беларуси, Ин-т эксп. ботан., Белор. государст. ун-т. – Минск: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
5. Цвелев, Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области) / Н. Н. Цвелев. – СПб.: Издательство СПХФА, 2000. – С. 284–300.
6. Ефимов, П. Г. Конспект флоры Псковской области (сосудистые растения) / П. Г. Ефимов, Г. Ю. Конечная. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. – С. 152–157.
7. Флора Восточной Европы, том X. / Отв. ред. и ред. тома Н. Н. Цвелев. СПб.: Мир и семья; Издательство СПХФА, 2001. – С. 100–158.
8. Симон, Т. В. К вопросу изучения представителей подсекции *Cassubici* Tzvel. секции *Ranunculus* во флоре Беларуси / Т. В. Симон, Д. В. Дубовик // Й. К. Пачоський та сучасна ботаніка; відповід. ред. М.Ф. Бойко. – Херсон: Айлант, 2004. – С. 170–174.
9. Дубовик, Д. В. Современное состояние и тенденции изменения флоры сосудистых растений восточной части Беларуси: (таксономический состав, хорологические особенности, вопросы охраны): диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 03.00.05 / Д. В. Дубовик. – Минск, 2009. – 148 с.
10. Цвелев, Н. Н. О лютиках (*Ranunculus*, *Ranunculaceae*) секции *Ranunculus* в Восточной Европе / Н. Н. Цвелев // Новости сист. высш. раст. – 1996. – Т. 30. – С. 53–78.

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

УДК 582.682.4(476)

К. Л. САВИЦКАЯ¹, М. А. ДЖУС²

МАК БЕЛОЦВЕТКОВЫЙ (*PAPAVER ALBIFLORUM* (ELKAN) PACZ., PAPAVERACEAE) – НОВЫЙ АДВЕНТИВНЫЙ ВИД ФЛОРЫ БЕЛАРУСИ

¹Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: karina_savv@mail.ru

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь, e-mail: dzhus_maxim@mail.ru

Аннотация. Впервые установлено произрастание на территории Беларуси ксенофита паннонско-причерноморско-средиземноморской ареалогической группы – мака белоцветкового (*Papaver albiflorum* (Elkan) Pacz.). В Беларуси вид представлен типовым подвидом. Более 50 экземпляров вида обнаружено в 2022 г. в полосе отвода железной дороги вблизи ст. Лошица Минского района Минской области. В статье рассмотрены морфологические и экологические особенности *P. albiflorum*, его распространение и синтаксономическая приуроченность. Приводится краткая информация о выращиваемых в культуре видах рода.

Ключевые слова: Papaveraceae, *Papaver albiflorum*, *Papaver dubium* agg., флористические находки, чужеродные виды, распространение, Беларусь.

K. L. SAVITSKAYA¹, M. A. DZHUS²

WHITE-FLOWERED POPPY (*PAPAVER ALBIFLORUM* (ELKAN) PACZ., PAPAVERACEAE) – A NEW ALIEN SPECIES FOR THE BELARUS FLORA

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: karina_savv@mail.ru

²Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus, e-mail: dzhus_maxim@mail.ru

Annotation. For the first time, the distribution of a xenophyte of the Pannonian-Black Sea-Mediterranean area group, the white-flowered poppy (*Papaver albiflorum* (Elkan) Pacz.), has been confirmed on the territory of Belarus. More than 50 plants were found in 2022 in the railroad right of way near the station Loshitsa (Minsk district, Minsk region). In Belarus *Papaver albiflorum* represented by typical subspecies. The morphological and ecological parameters of the species, its dispersal and syntaxonomic position are considered in the article. Brief information about cultivated species of poppies in Belarus is also provided.

Keywords: Papaveraceae, *Papaver albiflorum*, *Papaver dubium* agg. floristic records, alien species, distribution, Belarus.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно ревизии видового состава рода мак (*Papaver* L.) в Беларуси, выполненной в 2020 г., для территории республики указывается 9 видов (*P. argemone* L., *P. dubium* L., *P. rhoeas* L., *P. somniferum* L., *P. bracteatum* Lindl., *P. setiferum* Goldblatt (*P. pseudo-orientale* (Fedde) Medw. nom illeg.¹), *P. orientale* L., *P. atlanticum* (Ball) Coss., *P. croceum* Ledeb.) и 3 разновидности (*P. rhoeas* var. *strigosum* Boenn., *P. argemone* var. *glabratum* Rouy et Foucaud., *P. argemone* var. *cinerea-setulosa* Fedde et Bornm.). Из перечисленных видов *P. argemone*, *P. dubium*, *P. rhoeas*, *P. somniferum*

изредка произрастают в природных биотопах в основном в качестве сорно-сегетальных растений (*P. rhoeas* и *P. somniferum* иногда также культивируются в качестве декоративных растений). Культивируются как декоративные и изредка дичают *P. bracteatum*, *P. setiferum* и *P. orientale*. Только в культуре встречаются *P. atlanticum* и *P. croceum* [1].

В июне 2022 г. в окрестности д. Колядичи Минского района на железнодорожной линии «Минск–Осиповичи» между о.п. Железнодорожный и ст. Лошица обнаружен новый для флоры

¹ Название *Papaver pseudo-orientale* (Fedde) Medw. предлагалось к консервации [2], однако это предложение не было принято [3].

Беларуси заносный вид – мак белоцветковый (*Papaver albiflorum* (Elkan) Pacz.). Небольшая популяция вида (более 50 генеративных особей)

размещалась на площади 60 м² на крутом откосе земляного полотна высотой 6 м вблизи сообщества с доминированием *Papaver rhoeas*.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования флоры и растительности железных дорог Минской области проводили маршрутным и детально-маршрутным методом в рамках выполнения НИР «Состояние, устойчивость и особенности формирования фитоценозов под влиянием содержания и эксплуатации железнодорожных коммуникаций» (№ ГР 20210260 от 18.03.2021, научный руководитель – к.б.н. А. В. Судник) задания 10.2.7 «Структура, состояние, сценарии раз-

вития и принципы устойчивого управления растительным покровом в условиях возрастающего антропогенного воздействия и меняющегося климата» подпрограммы 10.2 «Биоразнообразие, биоресурсы, экология» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Геоботанические описания фитоценозов, сбор и обработка гербарного материала выполняли с применением стандартных методик [4–6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Papaver albiflorum (Elkan) Pacz., представитель семейства Маковые (*Papaveraceae*), относится к группе полиплоидных автогамных видов подсекции *Dubia* Mikhnev систематически сложной секции *Rhoeadium* Spach рода *Papaver* L. [7–8]. Объем рода *Papaver* давно является предметом дискуссий. К нему на основании морфологических, молекулярно-филогенетических и других данных нередко относят также роды *Stylomecon* G. Taylor, *Meconopsis* Vig. и *Roemeria* Medik. В традиционно понимаемом объеме рода *Papaver* не является монофилетическим [9–10]. Спорным является и таксономический ранг *Papaver albiflorum*. Иногда он рассматривается лишь как разновидность *P. dubium* L. или *P. lecoqii* Lamotte и относится, наряду с другими видами секции *Rhoeadium*, к группе морфологически сходных видов *P. dubium* agg. [11–13].

Впервые *P. albiflorum* был выделен В. Бессером в 1822 г. в ранге разновидности *P. dubium* L. s. l. при изучении белоцветковых популяций маков Юго-Западной России [14]. Такого же мнения позже придерживался и L. Elkan, в 1839 г. также употреблявший эпитет «albiflorum» для обозначения белоцветковой расы маков из Херсонской губернии. Однако, как самостоятельный вид с целым рядом отличительных признаков *P. albiflorum* (Elkan) Pacz. стал рассматриваться И. К. Пачоским только в 1905 г. [15]. Правомочность такого систематического решения подтвердили последующие генетические и биохимические исследования [8, 16–17 и др.]. Выяснилось, что *P. dubium* s. str. является постоянным гексаплоидом (2n=42), а *P. albiflorum* – тетраплоидом (2n=28) [7–8, 11, 18].

Далее приводятся номенклатурные сведения о виде и его морфологическое описание с учетом

литературных сведений [15, 19–20] и результатов исследования собранных гербарных образцов (рис. 1).

Papaver albiflorum (Elkan) Pacz. 1906, Тр. Ботан. сада Имп. Юрьевск. ун-та, 6 : 147; Бордз., Клоков, 1953, Фл. УРСР, 5 : 174, cum auct. (Bess.) Pacz.; Mowat, Walters, 1964, Fl. Europ., 1 : 248; Kubát, 1980, Preslia, 52 : 110; Егорова, 1998, Новости сист. высш. раст. 31 : 115; она же, 2001, Фл. Вост. Европы, 10 : 223; Бурда, Федорончук, 2004, Екофл. Укр. 2 : 306; Михайлова, 2012, Консп. флоры Вост. Европы, 1 : 165. – *P. dubium* α. *genuinum* † *albiflorum* Elkan, 1839, Tent. Monogr. Papaver : 25. – *P. dubium* L. var. *albiflorum* Besser, 1822, Enum. Pl. : 47, nom. nud.; Kadereit, 1988, Notes Roy. Bot. Gard. Edinb., 45, 2 : 241, p.p. – ?*P. dubium* L. var. *albiflorum* Boiss., 1867, Fl. Or., 1 : 115, nom. illeg.; М. Поп. 1937, Фл. СССР, 7 : 639, p.p. – *P. dubium* L. ssp. *albiflorum* (Boiss.) Dostál, 1948, Kvet. ČSR : 213, p.p. – *P. dubium* subsp. *lecoqii* auct. non (Lamotte) Syme: Kadereit, 1993, Fl. Europ., ed. 2, 1 : 299, p.p., quoad syn. *P. albiflorum* (Besser) Pacz.

Место описания вида в протологе не указано. Типом является изображение в работе Жакена «Флора Австрии» (Jacq. 1773, Fl. Austr. 1 : 17, tab. 25).

В составе вида выделяют два подвида (которым иногда придается статус самостоятельных видов) – типовой *Papaver albiflorum* subsp. *albiflorum* (к нему принадлежит обнаруженная нами популяция) и *P. albiflorum* subsp. *austromoravicum* Kubát (= *P. dubium* ssp. *austromoravicum* (Kubát) Hörandl), которые различаются по окраске млечного сока (латекса), биохимическим признакам и распространению [8, 16, 18, 21]. В видовом ранге для *P. albiflorum* subsp. *austromoravicum* приоритетным названием, вероятно, является *P. maculosum* Schur, Enum. Pl. Transs., 1866 : 36.



Рис. 1. Внешний вид мака белоцветкового из Беларуси
 (а, б – цветок и плоды, в – гербарный образец)

Fig. 1. Appearance of white-flowered poppy from Belarus
 (a, b – flower and fruits, c – herbarium sample)

P. albiflorum – однолетнее серовато-зеленое монокарпическое травянистое растение с прямым стеблем высотой 20–70 см. Стебель простой или ветвящийся, довольно густо опушен отстоящими кроющими трихомами. Корневая система стержневая. Главный корень хорошо развит, буровато-белый. Нижние листья черешчатые, до 8 см длиной и до 2 см шириной, перисто-раздельные или перисто-рассеченные с ланцетными или продолговато-ланцетными цельными или раздельными долями или сегментами. Черешки крылатые. Средние и верхние стеблевые листья на более коротких черешках или сидячие, перисто-рассеченные с цельными или расчлененными нижними сегментами. Листья сверху и снизу густо опушены прижатыми и отстоящими щетинковидными кроющими трихомами. Конечные сегменты листьев 1–3 мм шириной, заканчиваются щетинкой около 1 мм длиной. Цветоносы безлистные, длинные, при плодах почти равны по длине стеблю, опушены прижатыми, вверх направленными щетинковидными кроющими трихомами. Бутоны 6–12 мм длиной и 3–7 мм шириной, опушенные, согнутые. Цветки одиночные, актиноморфные, обоеполые. Околоцветник двойной. Чашелистиков 2, быстро опадающих при распускании цветка. Венчик свobodнолепестный, состоит из 4 лепестков, расположенных в два круга. Лепестки 8–20 мм длиной, белые (при высыхании слегка желтоватые), с верхней и нижней стороны с небольшим темно-фиолетовым пятном в основании. Тычинки многочисленные (30–80), тычиночные нити тонкие, тычиночный пояс узкий, около 0,3 мм шириной. Коробочка голая, с сизоватым оттенком, обратнойцевидно-булавовидная, до 20 мм длиной и 6 мм шириной, к основанию суженная, с гинофором. Диск коробочки 4–9-лучевой, ширина диска не превышает апикальной части коробочки. Лопасты рыльцевого диска с перекрывающимися краями. Семена мелкие, 0,6–0,7 мм длиной, сетчатоячеистые, коричневые. Млечный сок бесцветный, при высыхании окраску не меняет.

Основные отличия типового подвида *P. albiflorum* subsp. *albiflorum* от более распространенного в Беларуси и морфологически сходного *P. dubium* s.str., а также других близких видов, которые могут быть найдены в качестве заносных растений на территории республики отражены в табл. 1. Следует отметить, что разные виды *P. dubium* agg. гораздо легче определяются в природе (в живом состоянии), когда размеры,

окраска венчика² и латекса хорошо заметны. Важными диагностическими признаками в пределах этой группы маков являются также форма бутонов, взаимное расположение лопастей рыльцевого диска коробочки плода, кариологические и биохимические признаки (число хромосом, состав вторичных метаболитов). При совместном произрастании различные виды *P. dubium* agg. довольно легко гибридизируют, но пыльца и семена гибридов характеризуется высокой стерильностью [8, 11].

P. albiflorum относится к рудеральным терофитам. В пределах ареала встречается на полях, степных склонах, в т.ч. каменистых. По отношению к влаге является субмезофитом, по отношению к трофности почвы – мезотрофом, к освещенности – гелиофитом [22], предпочитает почвы с нейтральной реакцией [23].

Типовой подвид мака белоцветкового имеет средиземноморско-евразийский степной тип ареала и относится к паннонско-причерноморско-средиземноморской хорологической группе таксонов, распространение которых на востоке ареала ограничено в основном Причерноморьем [20, 24–26]. В Правобережной злаковой степи (северо-западное Причерноморье) считается эндемиком [27]. Таким образом, *P. albiflorum* ssp. *albiflorum* является аборигенным для отдельных областей Украины, юга Крыма и Северного Кавказа [7, 28]. Мак белоцветковый также рассматривается как средиземноморско-европейский вид [23], т.к. ареал *P. albiflorum* subsp. *austromoravicum* охватывает юго-восточную Европу, где подвид распространен от Балканского полуострова до Паннонской провинции Венгрии, Словакии, Австрии и Чехии [8, 11, 16]. При этом в Словакии он ограничен южными районами, а в Чехии встречается только в Южной Моравии и считается таксоном, находящимся под угрозой исчезновения [29].

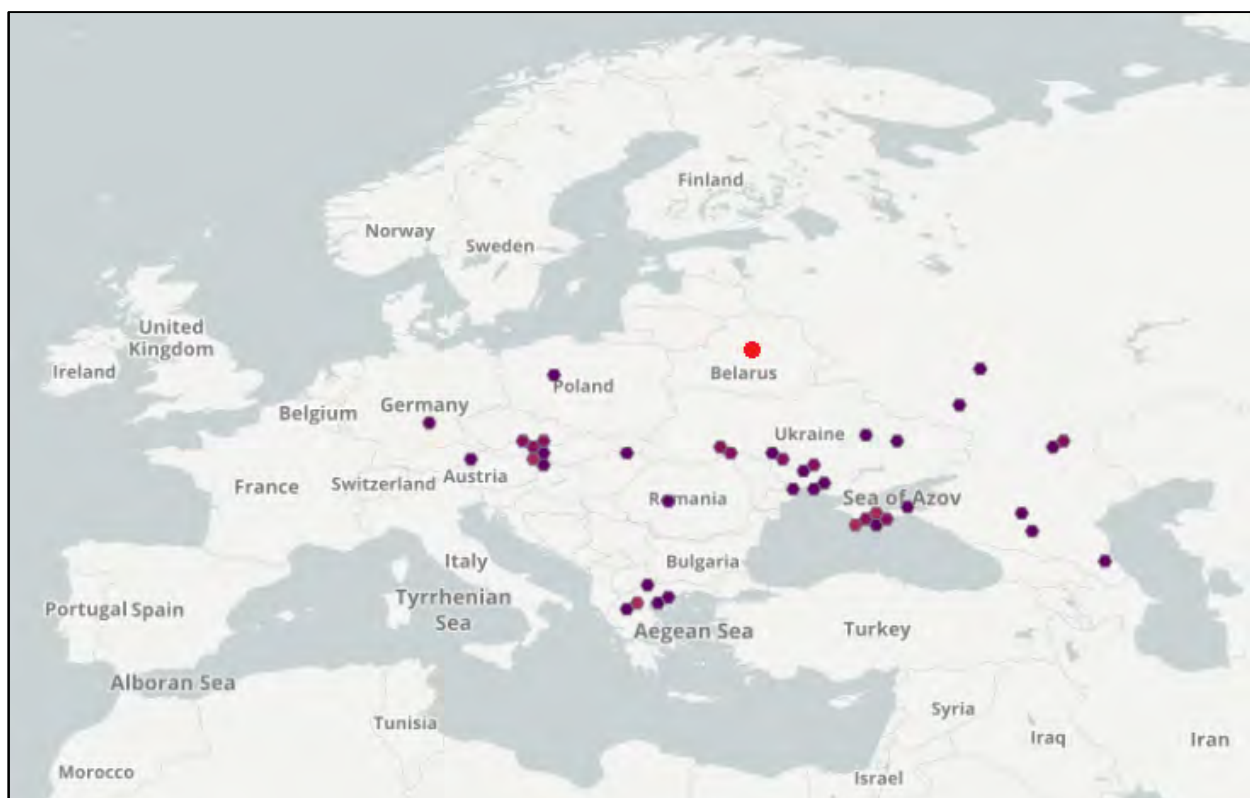
Постепенно *P. albiflorum* ssp. *albiflorum* (в меньшей степени ssp. *austromoravicum*) распространяется на север и восток за пределы первичного ареала, причем часто именно вдоль железных дорог, и в последние годы найден в Винницкой, Киевской, Сумской, Харьковской, Черниговской и Донецкой областях Украины [20, 22, 30–31], в различных районах Крыма [13], в Воронежской, Волгоградской, Костромской³ и Тамбовской областях России, в Польше [28–29]. Локалитет *P. albiflorum* в Беларуси расположен севернее большинства других известных местонахождений вида (рис. 2).

² Виды этой группы маков преимущественно автогамные и лепестки венчика у них опадают почти сразу после цветения утром.

³ Наблюдение С. Нестеровой 13 июля 2022 г. <https://www.inaturalist.org/observations/126445884>.

Таблица 1. Основные диагностические признаки некоторых таксонов родства *P. dubium***Table 1.** Main diagnostic features of some taxa related to *P. dubium*

Признаки / Features	<i>P. dubium</i> s.str.	<i>P. lecoqii</i>	<i>P. albiflorum</i> subsp. <i>albiflorum</i>	<i>P. albiflorum</i> subsp. <i>austromoravicum</i>
Окраска венчика	красный, обычно без темного пятна в основании лепестков	оранжево-красный (редко розовый или бледно-фиолетовый), обычно с темным пятном в основании лепестков	белый, при высыхании – желтоватый, обычно с темным пятном в основании лепестков	белый, при высыхании – желтоватый, обычно с темным пятном в основании лепестков
Млечный сок	белый, при высыхании становится коричневым или черным	желтый, при высыхании становится темно-красным	бесцветный	белый, при высыхании становится желтым
Рыльцевой диск	Лопасты рыльцевого диска со свободными или соприкасающимися краями	Лопасты рыльцевого диска с перекрывающимися краями	Лопасты рыльцевого диска с перекрывающимися краями	Лопасты рыльцевого диска с перекрывающимися краями
Коробочка	Основание коробочки постепенно суживается	Основание коробочки более внезапно суженное	Основание коробочки более внезапно суженное	Основание коробочки более внезапно суженное
Число хромосом	2n=42	2n=28	2n=28	2n=28
Алкалоиды	Реадин	Реадин, апорфин, проапорфин, берберин	Апорфин	Апорфин, реадин

**Рис. 2.** Современное распространение *Papaver albiflorum* по данным GBIF (красной точкой отмечено новое местонахождение вида в Беларуси) [28]**Fig. 2.** Recent distribution of *Papaver albiflorum* according to GBIF data (the red point marks the new locality of the species in Belarus) [28]

Papaver albiflorum нередко попадает в описания рудеральных нитрофильных сообществ ассоциаций *Sisymbrietum loeseli* (Krech 1935) Gutte 1972 (союза *Atriplicion* Passarge 1978) и *Corispermum-Brometum tectorum* Krusem., Siss. et Westh. 1946 (союза *Sisymbrium officinalis* Tx. et al. ex von Rochow 1951) порядка *Sisymbrietales* *sophiae* J. Tx. ex Görs 1966, класса *Sisymbrietea* Gutte et Hilbig 1975 [29, 32–34]. В составе синантропного фитоценоза (с преобладанием адвентивных видов) первой из перечисленных ассоциаций мак белоцветковый отмечен в новом местонахождении и в Беларуси (рис. 3, табл. 2).

Для оценки таксономического разнообразия культивируемых представителей рода *Papaver* в Беларуси и примерного времени интродукции отдельных видов нами были проанализированы данные делектусов (перечней семян) и других справочных изданий в которых приведены сведения о сосудистых растениях, привлекаемых для интродукции в открытом грунте в крупнейших ботанических садах Беларуси: ботаничес-

ком саду Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (г. Горки) (с 1925 г.), центральном ботаническом саду НАН Беларуси (с 1934 г.) и ботаническом саду Белорусского государственного университета (с 1949 г.) [35–39].

Анализ литературных данных показал, что в различное время интродукционными испытаниями было охвачено более 30 таксонов различного ранга (от видов до сортов) рода *Papaver*. Наибольшее разнообразие одновременно выращиваемых в коллекции таксонов видового ранга составляло 12. Временные периоды, когда в коллекциях было представлено наибольшее таксономическое разнообразие рода, охватывает интервалы с 1928 по 1939 гг. (ботанический сад государственной сельскохозяйственной академии, 6–12 видов), с 1968 по 1978 (ЦБС АН РБ, 6–10 видов) и с 1971 по 1977 г. (ботанический сад БГУ, 8–12 видов). Большинство испытываемых в культуре видов не получило широкого распространения. Сведения о культивируемых видах приведены в табл. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Papaver albiflorum впервые указывается в качестве заносного растения для флоры Беларуси. Популяция вида площадью около 60 м² была выявлена в окрестностях д. Колядичи Минского района на высоком склоне насыпи в полосе отвода железной дороги. В Беларуси *P. albiflorum* представлен типовым подвидом. На территории

страны мак белоцветковый – кенофит, ксенофит, вероятно, совсем недавно занесенный железнодорожным транспортом с граничащих с республикой на юге или юго-востоке территорий. Возможно его дальнейшее распространение по железной дороге и вселение в агроэкосистемы.



Рис. 3. Внешний вид сообщества с участием *Papaver albiflorum* в окрестностях д. Колядичи Минского района

Fig. 3. Appearance of the community with *Papaver albiflorum* near Kolyadichi village, Minsk District

Таблица 2. Геоботаническое описание фитоценоза с участием *P. albiflorum* в Беларуси**Table 2.** Geobotanical relevé of the phytocenosis with *P. albiflorum* in Belarus

№ п/п No. p/p	Название растения / Plant name	Ярус Floor	Средняя высота, м Average height, m	Фенофаза Phenophase	Жизнен- ность, балл Vitality, score	Проективное покрытие, % Projective coverage, %	Обилие, балл Abun- dance, score	Синан- тропный компонент Synanthropic component
Сообщество асс. <i>Sisymbrium loeseli</i> (Krech 1935) Gutte 1972 (откос земляного полотна; дата описания – 15.06.22 г.)								
Травы и кустарнички		I	0,53	цв.	4	80	Soc	-
1	<i>Papaver rhoeas</i> L.					0,1	Rr	адв/арх
2	<i>P. albiflorum</i> (Elkan) Pacz.					34	Cop1	адв.
3	<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl					5	Sp	адв/арх
4	<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.					1	Sol	аб/ап
5	<i>Solidago canadensis</i> L.					5	Sp	адв.
6	<i>Bromopsis inermis</i> (Leys.) Holub					4	Sol	аб/ап
7	<i>Sisymbrium loeselii</i> L.					0,1	Rr	адв.
8	<i>S. orientale</i> L.					0,1	Rr	адв.
9	<i>Convolvulus arvensis</i> L.					0,1	Rr	адв/арх
10	<i>Pastinaca sylvestris</i> Mill.					0,1	Rr	аб/ап
11	<i>Tragopogon dubius</i> Scop.					0,1	Rr	адв.
12	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski					2	Sol	аб/ап
13	<i>Pilosella praealta</i> F.W. Schultz et Sch. Bip.					2	Sol	аб/ап
14	<i>Silene latifolia</i> Poir.					0,1	Rr	адв/арх
15	<i>Senecio vernalis</i> Wadst. et Kit.					1	Sol	адв.
16	<i>Rumex acetosa</i> L.					1	Sol	аб/ап
		II	0,25	вег. в.	3			
17	<i>Equisetum arvense</i> L.					27	Cop1	аб/ап
18	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s.l.					9	Sp	аб/ап
19	<i>Urtica dioica</i> L.					0,1	Rr	аб/ап
20	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist					0,1	Rr	адв.
21	<i>Senecio viscosus</i> L.					0,1	Rr	адв.
22	<i>Viola arvensis</i> Murray					0,1	Rr	адв/арх
23	<i>Lactuca serriola</i> L.					18	Sp	адв.
24	<i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski					0,1	Rr	адв/арх
25	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.					0,1	Rr	адв/арх
26	<i>Festuca rubra</i> L.					12	Sp	аб/ап
27	<i>Artemisia vulgaris</i> L.					0,1	Rr	аб/ап
28	<i>A. absinthium</i> L.					0,1	Rr	аб/ап
29	<i>Vicia cracca</i> L.					0,1	Rr	аб/ап
Индекс синантропизации (Is)								1,00
Индекс апофитизации (Iap)								0,45
Индекс адвентизации (Iad)								0,55
Степень синантропизации, %								100

Мак белоцветковый является малоизвестным в Беларуси видом и не исключено, что ранее его принимали за белоцветковую форму широко распространенного (особенно в западной части республики) мака сомнительного. В связи с чем необходимо специальное изучение представителей секции *Rhoeadium* в природе⁴, а также ревизия имеющихся гербарных материалов. От других морфологически сходных таксонов *P. albiflorum* ssp. *albiflorum* хорошо отличается белой окраской венчика, бесцветным латексом, пере-

крывающимися лопастями рыльцевого диска корбочки. Весьма вероятно также обнаружение в качестве заносных и других представителей маков, относящихся к *P. dubium* agg.

В Беларуси в настоящее время в качестве заносных и культивируемых известно около 30 видов маков. Из них в природных (преимущественно рудеральных и сегетальных) сообществах встречаются не более 5. Большинство интродуцированных в Беларуси видов не получило широкого распространения и встречается только в культуре.

⁴ Например, наблюдение А. Мялика 19 мая 2021 г. <https://www.inaturalist.org/photos/130077536>.

Таблица 3. Перечень культивируемых видов маков
и год их первого указания в культуре в ботанических садах Беларуси

Table 3. List of cultivated poppy species
and the year of their first indication in culture in the botanical gardens of Belarus

Название / Name	Название, под которым приводится в литературе / Name given in literature	Год первого указания в культуре / The year of the first indication in culture	Место выращивания / Place of cultivation
<i>P. alboroseum</i> Hultén	<i>P. alboroseum</i> Hultén	1971	ЦБС
<i>P. alpinum</i> L.	<i>P. aurantiacum</i> Loisel., <i>P. alpinum</i> L.	1925	Горки, ЦБС, БГУ ⁵
<i>P. argemone</i> L.	<i>P. argemone</i> L.	1928	Горки, БГУ, ЦБС
<i>P. armeniacum</i> (L.) DC.	<i>P. caucasicum</i> M. Bieb., <i>P. fugax</i> Poir.	1928	Горки, БГУ, ЦБС
<i>P. atlanticum</i> (Ball) Coss.	<i>P. atlanticum</i> (Ball) Coss.	1929	Горки, ЦБС
<i>P. bracteatum</i> Lindl.	<i>P. bracteatum</i> Lindl.	1938	Горки, ЦБС, БГУ,
<i>P. californicum</i> A. Gray	<i>P. californicum</i> A. Gray	1967	ЦБС, БГУ
<i>P. croceum</i> Ledeb.	<i>P. anomalum</i> Fedde	1969	ЦБС, БГУ
<i>P. dubium</i> L.	<i>P. dubium</i> L.	1925	Горки, ЦБС, БГУ
<i>P. involucratum</i> Popov	<i>P. involucratum</i> Popov	1987	ЦБС
<i>P. laevigatum</i> M. Bieb.	<i>P. litwinowii</i> Fedde ex Popov	1985	ЦБС
<i>P. lapponicum</i> (Tolm.) Nordh.	<i>P. lapponicum</i> (Tolm.) Nordh.	1971	ЦБС
<i>P. lisae</i> N. Busch	<i>P. lisae</i> N. Busch	1967	ЦБС
<i>P. nudicaule</i> L.	<i>P. nudicaule</i> L.	1952	БГУ, ЦБС
<i>P. oreophilum</i> Rupr.	<i>P. oreophilum</i> Rupr.	1981	БГУ
<i>P. orientale</i> L.	<i>P. orientale</i> L., <i>P. paucifoliatum</i> (Trautv.) Fedde, <i>P. monanthum</i> Trautv.	1926	Горки, БГУ, ЦБС
<i>P. pavoninum</i> Fisch. et C.A. Mey.	<i>P. pavoninum</i> Fisch. et C.A. Mey.	1931	Горки, БГУ, ЦБС
<i>P. persicum</i> Lindl.	<i>P. persicum</i> Lindl., <i>P. tauricola</i> Boiss.	1931	Горки, ЦБС, БГУ
<i>P. pilosum</i> Sm.	<i>P. pilosum</i> Sibth, <i>P. schinzianum</i> Fedde, <i>P. heldreichii</i> Boiss.	1929	Горки, ЦБС
<i>P. radicans</i> Rottb.	<i>P. radicans</i> Rottb.	1928	Горки, ЦБС
<i>P. rhoeas</i> L.	<i>P. rhoeas</i> L.	1925	Горки, ЦБС, БГУ
<i>P. rubroaurantiacum</i> (Fisch. ex DC.) C.E. Lundstr.	<i>P. rubroaurantiacum</i> (Fisch. ex DC.) C.E. Lundstr.	1969	ЦБС
<i>P. rupifragum</i> Boiss. et Reut.	<i>P. rupifragum</i> Boiss. et Reut.	1934	ЦБС
<i>P. somniferum</i> L.	<i>P. somniferum</i> L., <i>P. opififerum</i> Forssk., <i>P. officinale</i> C.C. Gmel., <i>P. paeoniflorum</i> (Alef.) Corrêa	1925	Горки, ЦБС, БГУ
<i>P. setiferum</i> Goldblatt	<i>P. pseudo-orientale</i> (Fedde) Medw.	1938	Горки
<i>P. setigerum</i> DC.	<i>P. setigerum</i> DC.	1931	Горки, ЦБС

ЛИТЕРАТУРА

1. Скуратович, А. Н. Представители рода мак (*Papaver* L.) во флоре Беларуси / А. Н. Скуратович // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. Вып. 49. – Минск, 2020. – С. 28–36.
2. Lack, H. W. Proposal to conserve the name *Papaver pseudo-orientale* (Fedde) Medw. against *P. × pseudo-orientale* E.G. Camus (Papaveraceae) / H. W. Lack // Taxon. – 2019. – Vol. 68. – № 2. – P. 406–407.
3. Applequist, W. L. Report of the Nomenclature Committee for Vascular Plants / W. L. Applequist // Taxon. – 2023. – Vol. 73. – № 1. – P. 179–204.
4. Полевая геоботаника: в 5 т. / под общ. ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагина. М. – Л.: Наука, 1964. – Т. 3. – 531 с.
5. Программа и методика биогеоценологических исследований. – М.: Наука, 1974. – 404 с.
6. Гербарное дело: Справочное руководство. Русское издание / Под ред. Д. В. Гельмана. – Кью: Королевский ботанический сад. – 1995. – 341 с.
7. Михеев, А. Д. Флора района Кавказских Минеральных Вод и прилегающих территорий: Анализ и вопросы охраны / А. Д. Михеев // Автореф. дисс. докт. биол. наук. 03.00.05 – Ботаника. – Санкт-Петербург, 2000. – 52 с.

⁵ Последовательность перечисления ботанических садов соответствует времени интродукции в них различных видов маков.

8. Hörandl, E. Systematik und Verbreitung von *Papaver dubium* L. s.l. in Österreich / E. Hörandl // Linzer Biologischer Beiträge. – 1994. – № 26 (1). – S. 407–435.
9. Kadereit, J. W. Disassembling Papaver: A restriction site analysis of chloroplast DNA / J. W. Kadereit, K. J. Sytsma // Nordic Journal of Botany. – 1992. – Vol. 12. – P. 205–217.
10. Carolan, J. C. Phylogenetics of Papaver and Related Genera Based on DNA Sequences from ITS Nuclear Ribosomal DNA and Plastid trnL Intron and trnL–F Intergenic Spacers / J. C. Carolan [et al.] // Annals of Botany. – 2006. – Vol. 98. – № 1. – P. 141–155.
11. Kadereit, J. W. A revision of Papaver L. section Rhoeadium Spach. / J. W. Kadereit // Notes Roy. Bot. Gard. Edinburgh. – 1988. – Vol. 45. – № 2. – P. 225–286.
12. Jalas, J. Atlas Florae Europaeae. Distribution of Vascular Plants in Europe / J. Jalas, J. Suominen // Paoniaceae to Capparaceae. – 1991. – Vol. 9. – The Committee for Mapping the Flora of Europe, Societas Biologica Fennica Vanamo, Helsinki. – P. 34–36.
13. Фатерьга, В. В. Дополнения к флоре сосудистых растений Карадагского заповедника (Крым) / В. В. Фатерьга, А. В. Фатерьга // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2019. – № 4, Suppl. 2. – С. 67–82.
14. Besser, W. S. J. G. Enumeratio plantarum hucusque in Volhynia, Podolia, gub. Kiioviensi, Bessarabia Cis-tyracia et Odessam collectarum, simul cum observationibus in Primitias Florae Galiciae austriacae / W. S. J. G. Besser. – Vilnae: Typis Josephi Zawadzki universitatis typographi, 1822. – 112 s.
15. Пачоскій, І. Еще о новых и болѣ рѣдкихъ растеніяхъ Херсонской флоры / І. Пачоскій // Труды Ботанического сада Императорского Юрьевского университета. – 1905. – Т. 6, Вып. 3. – С. 147–151.
16. Kubát, K. Bemerkungen zu einigen tschechoslowakischen Arten der Gattung Papaver / K. Kubát // Preslia. – 1980. – Vol. 52. – № 2. – P. 103–115.
17. Михеев, А. Д. Виды секции Rhoeadium рода *Papaver* (Papaveraceae) на Северном Кавказе / А. Д. Михеев // Ботан. журн. – 1986. – Т. 71. – № 6. – С. 807–812.
18. Klapproth, H. Variability of isozyme pattern, chromosome number, and latex colour and components in the closely related *Papaver dubium* L. and *P. lecoqii* Lamotte in C Europe / H. Klapproth, J. W. Kadereit // Flora. – 1995. – Vol. 190. – № 2. – P. 97–104.
19. Бордзіловський, Е. І. Рід Мак – *Papaver* L. / Е. І. Бордзіловський, М. В. Клоков // – В кн.: Флора УРСР в 12 т. – 1953. – Т. 5. – Київ: вид-во АН УРСР. – С. 166–184.
20. Дідух, Я. П. Екофлора України / Я. П. Дідух [інш.]; відпов. ред. Я. П. Дідух. – Том II. – Київ: Фітосоціоцентр, 2004. – С. 328–329.
21. Novák, J. Chemotaxonomic review of the genus Papaver / J. Novák, V. Preininger // Preslia. – 1987. – Vol. 59. – № 1. – P. 1–13.
22. Двирна, Т. С. Адвентивная фракция флоры Роменско-Полтавского геоботанического округа: анализ и конспект / Т. С. Двирна // Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2014. – Т. 8. – № 1. – С. 4–19.
23. Cantemir, V. Genul *Papaver* L. în flora Basarabiei / V. Cantemir, A. Negru // Conservarea diversității plantelor: Materialele Simpozionului științific internațional consacrat aniversării a 60-a de la fondarea Grădinii Botanice (Institut) a Academiei de Științe a Moldovei, 7–9 octombrie 2010 // – Chișinău, 2010. – P. 144–149.
24. Егорова, Т. В. Род *Papaver* L. (Papaveraceae) во флоре Восточной Европы / Т. В. Егорова // Новости систематики высших растений – 1998. – Т. 31. – P. 92–136.
25. Крицька, Л. І. Географічна структура флори Кодимо-Сланецького Побужжя (аборигенна фракція) / Л. І. Крицька, В. В. Новосад / Вісник Національного науково-природничого музею. – 2012. – № 10. – С. 53–64.
26. Конспект флоры Восточной Европы. Под ред. Н. Н. Цвелева. – Т. 1. – М., СПб.: Товарищество научных изданий КМК. – 2012. – 630 с.
27. Попова, Е. Н. Аннотированный список флоры сосудистых растений побережья Куяльницкого лимана / Е. Н. Попова // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2016. – Вып. 7. – С. 191–226.
28. *Papaver albiflorum* (Elkan) Pacz. // GBIF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gbif.org/species/7315162>. – Дата доступа: 03.03.2023.
29. Woch, M. W. *Papaver albiflorum* subsp. *austromoravicum* (Papaveraceae) – nowy takson we florze polskiej / M. W. Woch // Fragm. Flor. Geobot. Polonica. – 2008. – Т. 15. – № 1. – S. 123–127.
30. Шиндер, О. І. Адвентивна фракція флори Мурафських Товтр (Вінницька область) / О. І. Шиндер // Синантропізація рослинного покриву України (Переяслав-Хмельницький, 27–28 вересня 2012). – Тез. докл. – Київ–Переяслав-Хмельницький, 2012. – С. 89–91.
31. Давидов, Д. А. Поширення видів роду *Papaver* (Papaveraceae) на залізницях Лівобережної України / Д. А. Давидов // Синантропізація рослинного покриву України: III Всеукраїнська наукова конф., 26–27 вересня 2019 р. Зб. наук. ст. – Київ: Наш формат, 2019. – 184 с. – С. 33–37.
32. Булохов, А. Д. Сообщества класса *Papaveretea rhoeadis* S. Brullo et al. 2001 и *Sisymbrietea* Gutte et Hilbig 1975 в Южном Нечерноземье России / А. Д. Булохов, И. М. Ивенкова, Н. Н. Панасенко // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2019. – № 2(54). – С. 103–122.
33. Dubyna, D. V. Ruderal vegetation of Kyiv City. I. Class Stellarietea mediae Tx. et al. in Tx. 1950 / D. V. Dubyna [et al.] // Ukrainian Botanical Journal. – 2021. – № 78 (3). – P. 176–200.
34. Mucina, L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities / L. Mucina [et al.] // Applied Vegetation Science. – 2016. – Vol. 19, Issue S1. – P. 3–264.

35. Пералік насення, якое прапануецца да абмену Батанічным Садом Гарэцкага С.-Г. Інстытуту. – Горкі: Літографія Інстытута, 1925. – 8 с.
36. Пералік насення, якое Цэнтральны Батанічны Сад Бел. АН прапануе для абмена. – Менск: Выдавецтва Беларускай Акадэміі навук, 1934. – 16 с.
37. Перечень семян, предлагаемых для обмена Ботаническим садом Белорусского государственного университета имени В.И. Ленина. – Минск: Издательство Академии наук Белорусской ССР, 1949. – 19 с.
38. Кухарева, Л. В. Полезные травянистые растения природной флоры: Справочник по итогам интродукции в Белоруссии / Л. В. Кухарева, Г. В. Пашина // Минск: Наука и техника, 1986. – 215 с.
39. Каталог сосудистых растений Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси (открытый грунт) / сост. И. К. Володько [и др.]; науч. ред.: В. Н. Решетников, В. В. Титок. – Минск: Тэхналогія, 2010. – 264 с.

Поступила в редакцию 03.03.2023 г.

УДК 581.15:575.22.015-025.25

Н. В. САМОХВАЛОВА¹, А. Н. МЯЛИК¹, Т. Г. ШЛАПАКОВА¹, А. В. КРУЧОНОК²

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ ГУДАЙЕРЫ ПОЛЗУЧЕЙ (*GOODYERA REPENS* (L.) R. BR.) В БЕЛАРУСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ IPBS МАРКЕРОВ

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: shadownatasha232@gmail.com²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: kruchonak@gmail.com

Аннотация. С использованием молекулярных iPBS маркеров выполнена оценка генетического разнообразия популяций гудайеры ползучей (*Goodyera repens* (L.) R.Br.) в различных частях ареала данного вида в пределах Беларуси. Результаты кластерного анализа позволяют выделить здесь как минимум 2 генетически обособленные группы *Goodyera repens*, что можно объяснить послеледниковой историей развития флоры. В то же время связь между положением популяций в краевой или оптимальной зонах ареала и уровнем их генетической гетерогенности отсутствует. Модельная популяция Телеханы (Т), расположенная на южной границе ареала вида, выделяется самым высоким уровнем генетического разнообразия Нея (0,16), в то время как для популяции Браслав (Br), расположенной на севере Беларуси, этот показатель равен 0,09.

Ключевые слова: популяционная генетика, Орхидные, *Goodyera repens*, гудайера ползучая, вид на границе ареала, iPBS маркеры, генетическое разнообразие.

N. V. SAMOKHVALOVA¹, A. N. MIALIK¹, T. G. SHLAPAKOVA¹, A. V. KRUCHONOK²

EVALUATION OF GENETIC VARIABILITY OF *GOODYERA REPENS* (L.) R. BR. POPULATIONS IN BELARUS USING MOLECULAR IPBS MARKERS

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: shadownatasha232@gmail.com²Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: kruchonak@gmail.com

Annotation. An assessment of the genetic diversity of populations of *Goodyera repens* in different parts of the range of this species within Belarus was carried out using iPBS molecular markers. The results of cluster analysis make it possible to identify at least 3 genetically isolated groups of *Goodyera repens* populations within Belarus, which is likely to be the probability of the development of post-glacial flora. Studies have shown that there is no relationship between the position of populations in the edge or optimal zones of the range and the level of their genetic heterogeneity. The model of Telekhany population (T), located on the southern border of the range of the species, has the highest level of genetic diversity of Nei (0.16), while for the Braslav population (Br), located in northern Belarus, this indicator is equal to 0.09.

Keywords: population genetics, orchids, creeping lady's-tresses, range border species, iPBS markers, genetic diversity.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ввиду глобальных и региональных климатических изменений, а также возрастающего антропогенного воздействия все большее число видов растений попадает в категорию редких и исчезающих, чем и обусловлена необходимость их более подробного изучения с целью сохранения в составе флоры. Особого внимания требуют виды растений, произрастающие на границах естественных ареалов, что определяет их ограниченное распространение во флоре конкретной территории, а также уязвимость к воздействию местных природных факто-

ров. Во флоре Беларуси на пределе своего естественного географического распространения произрастает более 300 аборигенных видов сосудистых растений [1], многие из которых имеют категорию охраны согласно Красной книге Республики Беларусь, либо включены в список дикорастущих растений и грибов, нуждающихся в профилактической охране [2].

Известно, что многие представители семейства Orchidaceae (Орхидные) как одной из наиболее уязвимых групп растений, являясь стенотопными видами, наиболее чутко реагируют на изменение природных условий, вызванное как

естественными, так и антропогенными факторами. Например, такие виды как *Hammarbya paludosa* (L.) Kuntze, *Neottia cordata* (L.) Rich., *Liparis loeselii* (L.) Rich. существенно сократили свое распространение в южной периферийной части ареала, которая занимает территорию Белорусского Полесья [3]. Исчезновение данных видов в ранее известных местообитаниях вызвано не только их прямым уничтожением в результате хозяйственной трансформации земель, но и, возможно, региональными климатическими изменениями, которые с учетом наблюдающейся тенденции потепления ставят под угрозу существование во флоре Беларуси ряда бореальных видов. В этой связи разработка стратегии сохранения исчезающих видов требует их комплексного изучения, включающего выявление динамики ареалов, оценку и мониторинг численности и жизнеспособности популяций, а также определение их генетического разнообразия, от кото-

рого напрямую зависит возможность существования вида в долгосрочной перспективе.

Согласно одной из теорий, генетическое разнообразие популяций видов с сокращающимся ареалом наиболее низкое в периферийной зоне ввиду ослабленного генетического обмена между отдельными островными популяциями и популяциями в экстремальных экологических условиях их существования [4]. Следовательно, сравнительный генетический анализ гетерогенности популяций в периферийной и оптимальной зонах ареала позволит оценить перспективы состояния модельных бореальных видов во флоре Беларуси и предложить варианты стратегий их сохранения, адаптированных к региональным изменениям климата.

Вышесказанное определяет актуальность и цель данной работы – оценить генетическую гетерогенность популяций модельных видов семейства Orchidaceae в различных частях сокращающегося ареала.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве модельного вида из семейства Orchidaceae, для которого характерна деградация южной части ареала, была выбрана *Goodyera repens* (L.) R.Br. (гудайера ползучая) – многолетнее травянистое растение, достаточно широко распространенное в бореальной зоне Голарктики. На территории Беларуси этот вид нередко встречается в северной и центральной частях, однако в Полесье, где находится на южной границе ареала, наблюдается снижение численности и исчезновение ранее известных местообитаний, чем определяется его уязвимое состояние. Соответственно *G. repens* можно рассматривать как удобный модельный объект для оценки генетического разнообразия популяций растений в краевой и оптимальной зонах ареала.

Исходным материалом для оценки генетического разнообразия популяций *G. repens* послужили образцы вегетативных органов, собранные при проведении полевых флористических исследований в пределах Брестской, Минской, Витебской и Гродненской областей. С помощью рекогносцировочных и маршрутных методов были найдены популяции данного вида, выполнена оценка их жизнеспособности, изучены морфометрические параметры, произведено флористическое и геоботаническое описание фитоценозов и отобран растительный материал из 5 особей для молекулярно-генетических исследований. В хорошо представленных и многочисленных популяциях был собран и снабжен ваучерными этикетками гербарный материал, который хранится в гербарии Центрального ботанического сада НАН Бела-

руси (MSKH). Документирование мест сбора материала для молекулярно-генетических исследований (табл. 1) осуществлялось с помощью информационного ресурса Inaturalist.org, что при необходимости позволит в будущем отыскивать данные популяции и провести мониторинговые исследования независимыми специалистами.

Для изучения генетической структуры исследуемых популяций выделяли ДНК из предварительно высушенных в силикагеле листьев с помощью набора реагентов «ДНК-Экстран-3». Качество и количество выделенной ДНК проверяли с помощью NanoPhotometer Pearl Implen GmbH (Мюнхен, Германия). В результате определено, что значения соотношения 260/280 варьируется от 1,65 до 1,86. В исследовании использовали 30 iPBS праймеров [5] (табл. 2). ПЦР проводили в 25 мкл реакционной смеси, содержащей 25–50 нг ДНК, 5 мкл готовой смеси для ПЦР ScreenMix (Евроген), 1 мМ праймера для 12–13 п.н. праймеров или 0,6 мМ для 18 п.н. праймеров, и воды.

Программа ПЦР состояла из: 1 цикла при 95°C в течение 5 мин; 38 циклов при 95°C в течение 15 с, 50 циклов при 65,2°C (в зависимости от праймера) в течение 60 с или 68°C в течение 90 с. Финальная элонгация проводилась при 72°C в течение 8 мин. Амплификацию проводили в программируемом терморегуляторе C1000 Touch Thermal Cycler (MJ Research Inc., Bio-Rad Laboratories, США). Электрофорез шел при напряжении в 65V на протяжении 2 часов в 1,8% агарозном геле. Для окрашивания геля использовали бромид этидия в течении 30 минут, а визуа-

Таблица 1. Характеристика образцов *Goodyera repens***Table 1.** The Characteristics of *Goodyera repens* samples

Популяция	Местоположение	Координаты	Фитоценоз	Автор сбора, дата	Документирование
1 Озеры (О)	Гродненская обл., Гродненский р-н, д. Озеры, 3,3 км к северо-востоку	53.748715, 24.220319	Ельник зелено-мошный с примесью сосны	Мялик А.Н., 21.09.2022	https://www.inaturalist.org/observations/135899263 , гербарий MSKH
2 Орхово (Or)	Брестская обл., Брестский р-н, д. Орхово, 0,7 км к юго-востоку	51.533553, 23.618968	Сосняк зелено-мошный	Мялик А.Н., Кручонок А.В., 15.07.2022	https://www.inaturalist.org/observations/126522741 , гербарий MSKH
3 Телеханы (Т)	Брестская обл., Ивацевичский р-н, д. Вулька-Телеханская, 5 км к западу-северо-западу	52.560617, 25.813525	Ельник зелено-мошный	Мялик А.Н., 21.11.2020	https://www.inaturalist.org/observations/65326587 , гербарий MSKH
4 Зеленое (Zl)	Минская обл., Минский р-н, окр. пос. Зеленое	53.974148, 27.291344	Сосняк зелено-мошный	Кручонок А.В., 21.10.2021	-
5 Голубицкая пуща (Gr)	Витебская обл., Глубокский р-н, д. Липово, 8 км к юго-западу	55.043741, 28.118587	Сосняк зелено-мошный с примесью ели	Мялик А.Н., 13.07.2022	https://www.inaturalist.org/observations/126113139 , гербарий MSKH
6 Богушевичи (Bg)	Минская обл., Березинский р-н, д. Богушевичи, 1,6 км к западу	53.712199, 28.797044	Сосняк зелено-мошный	Кручонок А.В., 08.05.2022	https://www.inaturalist.org/observations/116071442
7 Браслав (Br)	Витебская обл., Браславский р-н, д. Дубки, 1,7 км к северо-западу	55.619684, 27.074589	Сосняк зелено-мошный на ледниковом озере	Кручонок А.В., 05.05.2022	https://www.inaturalist.org/observations/115566340
8 Хатынь (Ht)	Минская обл., Логойский р-н, бывш. д. Хатынь, 2,3 км к западу-северо-западу	54.338050, 27.902731	Ельник зелено-мошный	Кручонок А.В., 15.05.2022	https://www.inaturalist.org/observations/117100499

лизировали с использованием системы UV Imager Gel Doc XR+ (Bio-Rad, США).

Для построения бинарных матриц на основе изображений электрофорезов использовалась программа PyElph 1.4. Все полосы электрофореза, которые можно точно распознать, рассматривались как единичные доминантные локусы. Наличие или отсутствие фрагментов обозначали как «1» или «0» соответственно. Полученные данные в виде бинарной матрицы, обрабатывали с помощью программы PopGene 1.31 для расчета следующих параметров: доля полиморфных локусов (P), эффективное (Ne) и наблюдаемое число аллелей (Na), информационный индекс

Шеннона (I) генетическое разнообразие Нея (Ne), общее разнообразие генов (Ht), разнообразие генов в популяциях (Hs), коэффициент генетической дифференциации ($Gst = [Ht - Hs] / Ht$) и поток генов среди популяций (Nm). Эти параметры выбраны как наиболее подходящие для доминантных молекулярных маркеров [6]. Программу GenALEX 6.5 для MS Excel использовали при расчете величины информационного полиморфизма (PIC), среднего генетического расстояния, анализа молекулярной вариации (AMOVA) и анализа главных координат (PCoA). Для построения дендрограммы методом ward.D2 использовали пакет Stats для R.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Всего было исследовано 8 популяций *G. repens*, расположенных в различных частях ареала данного вида на территории Беларуси. К периферийным относятся популяции из территории Брестского (Орхово (Or)) и Ивацевичского (Телеханы (Т))

районов. Популяции Озеры (О), Зеленое (Zl), Хатынь (Ht), Богушевичи (Bg), Голубицкая пуща (Gr) и Браслав (Br), расположенные на территории Гродненской, Минской и Витебской областей, находятся в оптимальной зоне ареала *G. repens*.

Таблица 2. Праймеры, используемые в исследовании**Table 2.** Primers used in the study

Праймер	Оптимальная температура отжига T_a (°C)	Последовательность (5' – 3')
2389	50.0	ACATCCTTCCCA
2373	51.0	GAACCTTGCTCCGATGCCA
2277	52.0	GGCGATGATACCA
2376	52.0	TAGATGGCACCA
2375	52.5	TCGCATCAACCA
2377	53.0	ACGAAGGGACCA
2378	53.0	GGTCCTCATCCA
2383	53.0	GCATGGCCTCCA
2374	53.5	CCCAGCAAACCA
2095	53.7	GCTCGGATACCA
2083	54.6	CTTCTAGCGCCA
2237	55.0	CCCCTACCTGGCGTGCCA
2239	55.0	ACCTAGGCTCGGATGCCA
2272	55.0	GGCTCAGATGCCA
2077	55.1	CTCACGATGCCA
2232	55.4	AGAGAGGCTCGGATACCA
2390	56.4	GCAACAACCCCA
2273	56.5	GTCATCATGCCA
2394	56.5	GAGCCTAGGCCA
2220	57.0	ACCTGGCTCATGATGCCA
2242	57.0	GCCCATGGTGGGCGCCA
2076	59.2	GCTCCGATGCCA
2271	60.0	GGCTCGGATGCCA
2415	61.0	CATCGTAGGTGGGCGCCA
2078	62.8	GCGGAGTCGCCA
2399	63.0	AAACTGGCAACGGCGCCA
2080	63.3	CAGACGGCGCCA
2081	65.0	GCAACGGCGCCA
2270	65.0	ACCTGGCGTGCCA
2079	65.2	AGGTGGGCGCCA

Результаты исследований показали, что для оценки генетического разнообразия и генетической дифференциации *G. repens* подходящими оказались 11 маркеров из 30 используемых (2375, 2377, 2383, 2239, 2232, 2390, 2273, 2242, 2076, 2078, 2081), поскольку они позволили получить четкие фрагменты ДНК с полиморфными локусами.

Для установления оптимальных температур отжига праймеров была проведена градиентная ПЦР с образцами исследуемого вида. Полученные температуры представлены в табл. 3.

Для отобранных iPBS маркеров установлены такие показатели как количество полиморфных локусов, их доля и мера информационного полиморфизма (PIC) (табл. 4).

Для каждого праймера было получено от 13 до 29 локусов и от 3 до 24 полиморфных локусов. Среднее количество локусов и полиморфных локусов для всех праймеров составило 21,55 и 14,45 соответственно. В среднем на набор праймеров

было получено 63,91% полиморфных локусов. Максимальное значение меры информационного полиморфизма (PIC) получено для маркера 2232 (0,26), а минимальное для маркера 2242 (0,06). Матрицы, построенные по результатам ПЦР с использованием маркеров 2239 и 2242, не были включены в дальнейшие расчеты так как 2239 и 2242 показали низкие значения PIC.

На основе данных, полученных с использованием молекулярных iPBS маркеров 2375, 2377, 2383, 2232, 2390, 2273, 2076, 2078 и 2081 были рассчитаны: доля полиморфных ампликонов (P), эффективное (N_e) и наблюдаемое число аллелей (N_a), информационный индекс Шеннона (I), генное разнообразие H_{eij} (He) для каждой популяции *G. repens*. Вышеперечисленные параметры, а также общее генетическое разнообразие (H_t), генетическое разнообразие в популяциях (H_s), уровень подразделенности популяций (G_{st}), поток генов между популяциями (N_m) рассчитаны для всех локусов восьми популяций.

Таблица 3. Оптимальные температуры отжига праймеров после оптимизации**Table 3.** Optimal primer annealing temperatures after optimization

Праймер	Оптимальная температура отжига T_a (°C)	Последовательность (5' – 3')
2390	52,4	GCAACAACCCCA
2273	52,4	GTCATCATGCCA
2375	49,4	TCGCATCAACCA
2377	48,0	ACGAAGGGACCA
2383	53,6	GCATGGCCTCCA
2078	63,6	GCGGAGTCGCCA
2081	63,6	GCAACGGCGCCA
2239	51,0	ACCTAGGCTCGGATGCCA
2232	53,4	AGAGAGGCTCGGATACCA
2242	57,0	GCCCCATGGTGGGCGCCA
2076	55,4	GCTCCGATGCCA

Таблица 4. Характеристика отобранных iPBS маркеров**Table 4.** Characterization of selected iPBS markers

iPBS маркер	Количество локусов	Количество полиморфных локусов	Доля полиморфных локусов (%)	Мера информационного полиморфизма (PIC)
2375	26	19	73,08	0,23
2377	20	16	80,00	0,25
2383	23	14	60,87	0,17
2239	17	7	41,18	0,09
2232	23	19	82,61	0,26
2390	23	17	73,91	0,23
2273	27	20	74,07	0,19
2242	13	3	23,08	0,06
2076	19	10	52,63	0,16
2078	17	10	58,82	0,17
2081	29	24	82,76	0,25
Среднее	21,55	14,45	63,91	0,19

Полученные данные показали (табл. 5), что наибольшая доля полиморфных локусов обнаружена в модельных популяциях Телеханы (Т) и Зеленое (Zl) (46,86% и 39,61% соответственно). Наименьшая доля полиморфных локусов выявлена у популяции Браслав (24,15%). В восьми исследованных популяциях наблюдаемое число аллелей (N_a) варьирует от 1,24 в популяции Браслав (Br) до 1,47 в популяции Телеханы (Т). Максимальное эффективное число аллелей (1,27) было обнаружено также в популяции Телеханы (Т), а наименьшее их количество (1,15) выявлено в популяции *G. repens* из Браслава (Br). На основании значений (H_e) и (I) для популяции Телеханы (Т) выявлено наибольшее генетическое разнообразие, тогда как наименьшим уровнем по данному показателю выделяется популяция Браслав. Последнее, по нашему мнению, можно объяснить изолированным расположением данной популяции на вершине моренной гряды.

Для анализа генетической изменчивости изученных популяций для всех локусов были рассчитаны: N_a , N_e , H_e , I и доля полиморфных локусов, которые составили 1,72; 1,33; 0,2; 0,32 и 67,09 % соответственно.

Анализ межпопуляционной и внутривидовой генетической структуры показал, что общее генетическое разнообразие ($H_t=0,2$) отличается от внутривидового генетического разнообразия ($H_s=0,13$). Уровень генетической дифференциации (G_{st}) среди изученных популяций *G. repens* составил 0,37 с эффективным потоком генов (N_m), наблюдаемым между популяциями равным 0,86. Известно, что поток генов способствует повышению уровня генетического разнообразия популяций растений, а также является важным фактором, влияющим на генетическую дифференциацию. Если значение данного показателя меньше 1, то сила потока генов достаточна, чтобы свести на нет влияние генетического дрейфа на генетическое разнообразие популяций [7]. Наряду с мутациями, потоком генов и естественным отбором дрейф генов является одним из факторов, вызывающих изменение генофонда с течением времени. [8]. Выявленное значение потока генов ($N_m=0,86$) показало, что популяции *G. repens* в Беларуси подвержены генетическому дрейфу (табл. 5), что может снижать их приспособленность, вызывая накопление и закрепление вредных аллелей в популяции [9].

Представленные в табл. 5 данные показывают, что зависимости между уровнем генетического разнообразия популяций и их положением в краевой или оптимальной зонах ареала для *G. repens* в пределах Беларуси не выявлено. Такие краевые популяции как Телеханы (Т) и Орхово (Or) характеризуются высоким уровнем генетической гетерогенности. Для популяций Браслав (Br) и Богушевичи (Bg), расположенных в северной и центральной частях Беларуси, уровень генетического разнообразия значительно ниже. Общий высокий уровень генетического разнообразия всех изученных популяций можно объяснить тем, что данный вид достаточно часто встречается в пределах ареала, что обеспечивает поток генов между соседними популяциями. Схожие результаты получены для популяций *G. repens* в северо-восточной Польше, где генетическое разнообразие этого вида также объясняется обилием сообществ сосновых и еловых лесов, подходящих для этого вида, что обеспечивает высокий уровень полового размножения [10]. Полученные данные не согласуются с известными представлениями о генетической обедненности краевых популяций [4]. Вероятно, высокая генетическая гетерогенность *G. repens* на южной границе ареала связана с достаточно жесткими для бореального вида экологическими условиями произрастания, которые выражаются в высокой теплообеспеченности территории и дефиците влажности. Таким образом повышенное генетическое разнообразие может быть основой

адаптационных процессов для выживания вида в напряженных экологических условиях, что также отмечалось для *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. на северной границе ареала [11]

Вышесказанное подтверждают результаты AMOVA, которые оказались сопоставимыми с уровнем подразделенности популяций (*Gst*). Они указывают на то, что большая часть общей изменчивости (79%) является внутривнутрипопуляционной, а меньшая часть (21%) – межпопуляционной. Как правило, более высокая генетическая изменчивость внутри популяций обнаруживается у перекрестно-опыляемых видов [12], к которым и относится и *G. repens*. Основываясь на наблюдаемой генетической изменчивости внутри популяций в нашем исследовании (79%), мы предполагаем, что способ опыления является важным фактором, поддерживающим генетические свойства популяций. Разница между индивидами в популяциях была статистически значимой с величиной $P < 0,001$. Полученное значение $\Phi_{PT} = 0,212$ указывает на довольно высокий уровень генетической дифференциации среди популяций (табл. 6).

С учетом того, что исследованные популяции находятся в различных частях ареала данного вида, наряду с оценкой их генетической гетерогенности важно выявить также их генетическую обособленность. Составленная попарная матрица генетических сходств и расстояний Нея (табл. 7) показывает генетические различия между исследованными популяциями *G. repens*, расположенными в различных частях ареала.

Таблица 5. Параметры генетического разнообразия исследованных популяций *Goodyera repens*

Table 5. Parameters of the genetic diversity of *Goodyera repens* populations

Параметр	Модельная популяция								Общее для популяций
	O	Or	T	Zl	Gp	Bg	Br	Ht	
Доля полиморфных локусов (%)	38,65	32,37	46,86	39,61	33,33	29,95	24,15	35,75	67,09
Наблюдаемое число аллелей (<i>N_a</i>)	1,39 ± 0,03	1,32 ± 0,03	1,47 ± 0,04	1,4 ± 0,03	1,33 ± 0,03	1,3 ± 0,03	1,24 ± 0,03	1,36 ± 0,03	1,72 ± 0,03
Эффективное число аллелей (<i>N_e</i>)	1,26 ± 0,03	1,21 ± 0,03	1,27 ± 0,03	1,26 ± 0,03	1,23 ± 0,03	1,19 ± 0,02	1,15 ± 0,02	1,23 ± 0,02	1,33 ± 0,02
Генетическое разнообразие Нея (<i>H_e</i>)	0,14 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,2 ± 0,01
Информационный индекс Шеннона (<i>I</i>)	0,21 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,32 ± 0,02
Общее генетическое разнообразие (<i>H_t</i>)	-								0,2 ± 0,002
Генетическое разнообразие в популяциях (<i>H_s</i>)	-								0,13 ± 0,001
Уровень подразделенности популяций (<i>G_{st}</i>)	-								0,37
Поток генов между популяциями (<i>N_m</i>)	-								0,86

Таблица 6. Результаты AMOVA для популяций *Goodyera repens***Table 6.** AMOVA results for *Goodyera repens* populations

Источник изменчивости	Число степеней свободы (df)	Сумма квадратов (SS)	Средний квадрат (MS)	Дисперсия	PhiPT	Доля в вариации
Общее	37	846,95	-	23,4	0,212*	-
Между популяциями	7	293,9	42	4,97		0,21
Внутри популяций	30	552,95	18,43	1843		0,79

Примечание: * – различия достоверны при уровне значимости $P < 0,01$.

Представленные выше данные показывают, что наименьшее значение генетического расстояния Нея (0,03) наблюдалось среди популяций Озеры (О) и Орхово (Or) а наибольшее между популяциями Озеры (О) и Хатынь (Ht). Результаты анализа ward.D2 (рис. 3), основанные на данных матрицы расстояния Нея также подтверждают эти данные и демонстрируют генетическую удаленность популяции Хатынь (Ht) от всех остальных. Популяции Озеры (О), Орхово (Or) и Телеханы (Т) расположенные в западной части Беларуси, находятся ближе всего друг к другу и генетическое расстояние Нея между ними наименьшее. В отдельную группу объединяются также популяции Зеленое (Zl), Голубицкая пуца (Gp), Богушевичи (Bg) и Браслав (Br), расположенные в центральной и северной частях Беларуси.

При этом с помощью анализа РСoA выявлено, что по первым трем компонентам главных координат наблюдалась вариация <29%. Все это указывает на то, что растения *G. repens* из всех изученных популяций существенно отличаются друг от друга (рис. 4).

Популяции Озеры (О), Орхово (Or) и Телеханы (Т) сосредоточены только в квадрантах 3 и 4, что сопоставимо с дендрограммой, полученной с помощью метода минимальной дисперсии Уорда. Популяции Богушевичи (Bg), Браслав (Br) и Хатынь (Ht) находятся в 1 и 2 квадрантах, в то время как популяции Голубицкая пуца (Gp) и Зеленое

(Zl) находятся ближе всего друг к другу на графике и занимают 1–3 квадранты, что также сопоставимо с кластерным анализом ward.D2.

Полученные данные позволяют выделить в пределах Беларуси как минимум 2 генетически обособленные группы популяций *Goodyera repens*. Их разнородность, вероятно, объясняется особенностями развития растительного покрова Беларуси в послеледниковый период. Так, в позднем голоцене, когда в субатлантический период наступило очередное похолодание и увеличилась влажность, началось распространение таежных и арктических элементов флоры в Восточной Европе [13]. По мнению Н. В. Козловской, в это время ель достигла своей современной границы распространения в Беларуси, а вместе с ней с горных областей центральной Европы и ее северной части проникли и другие бореальные виды: *Huperzia selago*, *Neottianthe cucullata*, а также *G. repens* [14]. По нашему мнению, популяции Орхово (Or), Озеры (О) и Телеханы (Т), расположенные в западной и южной частях Беларуси, имеют генетическую связь с центрально-европейским (горным) фрагментом ареала *G. repens*. Соответственно, популяции Браслав (Br), Богушевичи (Bg), Хатынь (Ht), Зеленое (Zl) и Голубицкая пуца (Gp), расположенные в Белорусском Поозерье и в области Центрально-Белорусских возвышенностей, связаны с северной частью Европы.

Таблица 7. Попарная матрица генетических сходств (над диагональю) и расстояний Нея (под диагональю).**Table 7.** Pairwise matrix of genetic similarities (above the diagonal) and Ney distances (below the diagonal)

Популяция	О	Or	Т	Zl	Gp	Bg	Br	Ht
О	-	0,97	0,96	0,93	0,93	0,91	0,89	0,87
Or	0,03	-	0,94	0,92	0,91	0,92	0,88	0,88
Т	0,04	0,07	-	0,94	0,92	0,90	0,89	0,89
Zl	0,07	0,08	0,06	-	0,95	0,94	0,92	0,91
Gp	0,08	0,09	0,08	0,05	-	0,94	0,93	0,90
Bg	0,09	0,08	0,10	0,07	0,06	-	0,94	0,90
Br	0,11	0,13	0,11	0,08	0,07	0,06	-	0,93
Ht	0,14	0,13	0,12	0,10	0,10	0,10	0,08	-

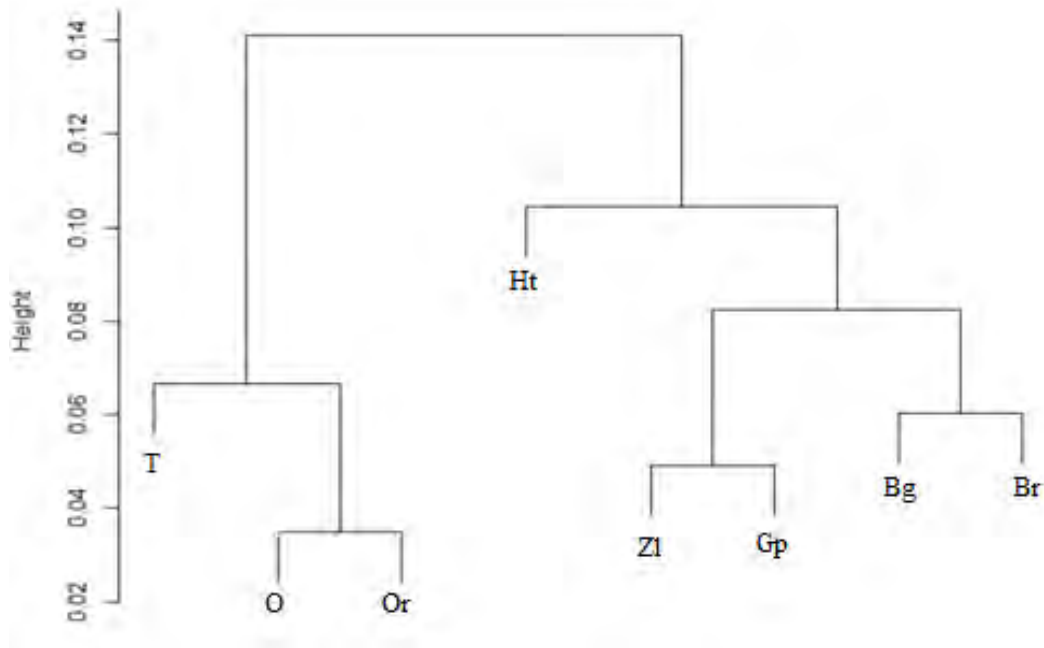


Рис. 3. Дендограмма на основе генетического расстояния Нея, показывающая взаимосвязь между изученными популяциями *Goodyera repens*

Fig. 3. Dendrogram based on Ney's genetic distance showing the relationship between studied *Goodyera repens* populations

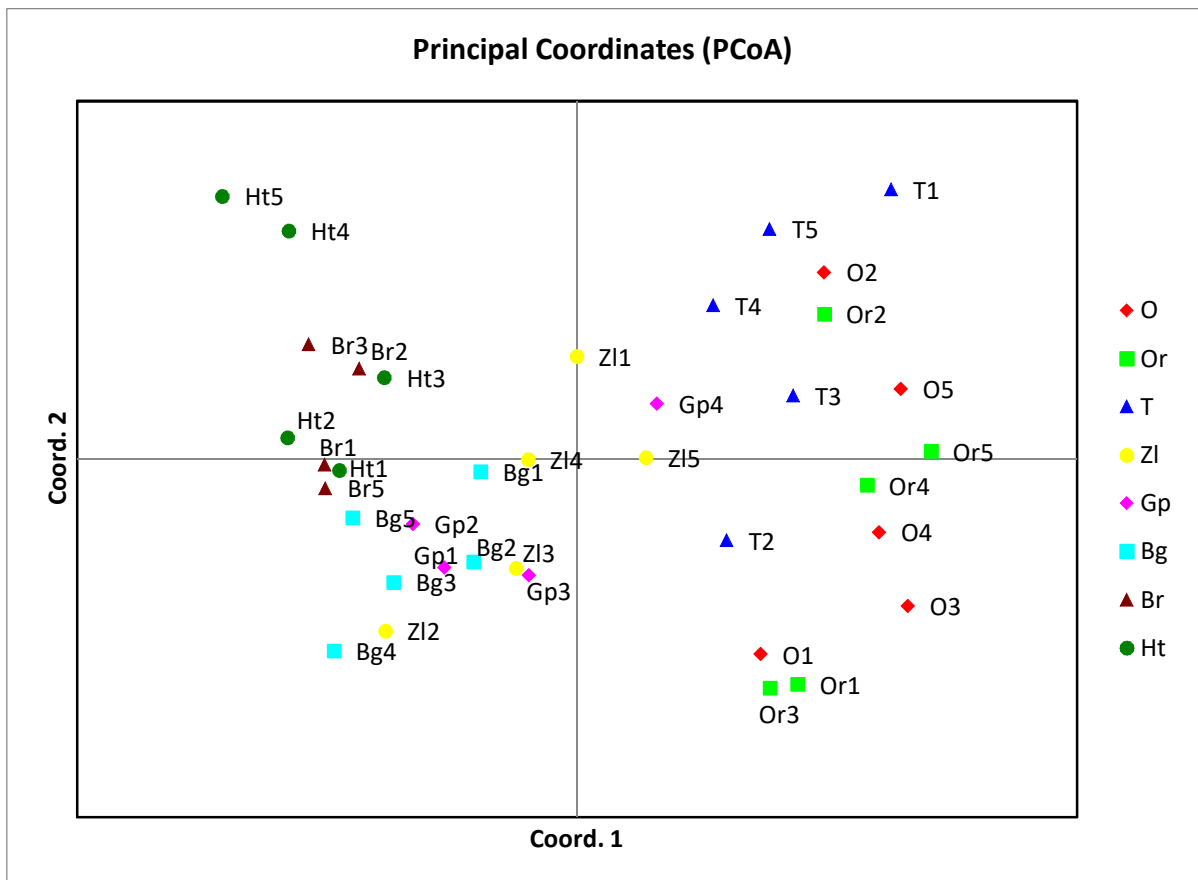


Рис. 4. Распределение исследованных образцов *Goodyera repens* на первых двух главных координатах (PCoA)

Fig. 4. Distribution of the studied samples *Goodyera repens* on the first two principal coordinates (PCoA)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были выявлены и обследованы популяции *G. repens*, являющейся удобным модельным объектом для изучения состояния видов на границах ареалов в условиях климатических изменений. С использованием молекулярных iPBS маркеров выполнена оценка генетического разнообразия 8 популяций данного вида, расположенных в различных частях его ареала в пределах Беларуси. Исследования показали, что зависимости между положением популяций в краевой (Белорусское Полесье) или оптимальной (центральная и северная часть Беларуси) зонах ареала и уровнем их генетической гетерогенности не наблюдается. Анализ популяционной генетической структуры также показал, что общее генетическое разнообразие у данного вида выше, чем внутривидовое. Уровень генетической дифференциации среди изученных популяций *G. repens* указывает на влияние генетического дрейфа на генетическую гетерогенность популяций, что может вести к снижению их приспособленности в условиях изменяющейся окружающей среды.

Результаты кластерного анализа демонстрируют подразделение изученных популяций на 2 генетически разрозненные группы, географическое положение которых, вероятно, связано с послеледниковой историей развития флоры Беларуси, на территорию которой бореальные виды проникали различными путями.

В целом анализ полученных данных показывает, что для *G. repens* характерно достаточно высокое генетическое разнообразие как для популяций, сосредоточенных в оптимальной зоне ареала (центральная и северная часть Беларуси), так и расположенных в периферийной части (территория Белорусского Полесья). Последнее обстоятельство обусловлено достаточно частой встречаемостью данного вида в пределах ареала, поскольку он приурочен к еловым и сосновым лесам, широко распространенным в Беларуси и имеющим высокую степень сохранности. В то же время нельзя утверждать, что полученные данные отрицают гипотезу о генетической обедненности краевых популяций. Вполне вероятно, что высокий полиморфизм краевых популяций, как и низкий уровень генетического разнообразия популяций из оптимальной зоны, нужно объяснять не их положением в пределах ареала, а тем, насколько условия конкретных популяций являются оптимальными для данного вида.

Полученные данные дополняют известные противоречивые сведения относительно генетической гетерогенности краевых популяций растений и позволяют дальше развивать представления о состоянии популяций исчезающих видов с целью поиска стратегии их сохранения. Результаты исследования дают повод считать, что в изучении генетического разнообразия следует ориентироваться не только на краевые зоны современных ареалов, но и учитывать их филогеографию.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант БРФФИ Наука М Б22М-078.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловская, Н. В. Хорология флоры Белоруссии / Н. В. Козловская, В. И. Парфёнов. – Минск : Наук. и техн., 1972. – 307 с.
2. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / М-во природ. ресурс. и охран. окруж. среды Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси ; гл. редкол.: Л. И. Хоружик (предс.) [и др.]. – 4-е изд. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 445 с.
3. Мяслик, А. Н. Ботанико-географические и экологические особенности аборигенных видов сосудистых растений, вероятно исчезнувших с территории Припятского Полесья / А. Н. Мяслик, В. И. Парфёнов // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Нац. акад. навук Беларусі, Палес. аграр.-экал. ін-т ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск, 2018. – Вып. 10. – С. 16–22.
4. Szczecinska, M. Genetic Diversity and Population Structure of the Rare and Endangered Plant Species *Pulsatilla patens* (L.) Mill in East Central Europe [Electronic source] / M. Szczecinska [et al.] // PLoS ONE. – 2016. – Vol. 11, N 3. – Mode of access: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0151730>. – Date of access: 30.08.2021.
5. Kalendar, R. iPBS: a universal method for DNA fingerprinting and retrotransposon isolation / R. Kalendar [et al.] // TAG Theor. Appl. Genet. Theor. Angew. Genet. – 2010. – Vol. 121, № 8. P. 1419–1430.
6. Ali, F. Mobile genomic element diversity in world collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) panel using iPBS-retrotransposon markers / F. Ali [et al.] // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 2. – P. 1–19.

7. Szabo, K. Assessment of genetic diversity and population structure of the endangered *Astragalus exscapus* subsp. *transsilvanicus* through DNA-based molecular markers / K. Szabo [et al.] // *Plants (Basel)* – 2021; 10(12): P. 2732. DOI: 10.3390/plants10122732.
8. Lande, R. Risk of population extinction from fixation of new deleterious mutations. *Evolution*. – 1994. – N 48(5). P. 1460–1469. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1994.tb02188.x. PMID: 28568413.
9. Honnay, O. Genetic Drift / O. Honnay // *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)*. – 2008. – Vol. 3. P. 114–117.
10. Brzosko, E. High level of genetic variation within clonal orchid *Goodyera repens* / E. Brzosko [et al.] // *Plant Systematics and Evolution*. – 2013. – N 299 (8). – P. 1537–1548. DOI 10.1007/s00606-013-0817-7.
11. Федоренко, О. М. Генетическое разнообразие природных популяций *Arabidopsis thaliana* (L.), расположенных на северной периферии ареала вида / Федоренко О. М. [и др.] // *Труды Карельского научного центра РАН*. – 2014. – № 2. – С. 36–42.
12. da Paschoa, R.P. Genetic diversity of populations of the dioecious *Myrsine coriacea* (*Primulaceae*) in the Atlantic Forest / R.P. da Paschoa [et al.] // *Acta Botanica Brasilica*. – 2018. – Vol. 32, № 3. P. 376–385.
13. Миняев, Н. А. История развития флоры северо-запада европейской части РСФСР с конца плейстоцена: доклад о работах, представленных к защите на соискание ученой степени доктора биологических наук / Н. А. Миняев. – Ленинград, 1966. – 42 с.
14. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности её формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Минск : Наук. и техн., 1978. – 128 с.

Поступила в редакцию 17.04.2023 г.

ФИТОЦЕНОЛОГИЯ PHYTOCENOLOGY

УДК 502.5:528.8 (476.1-751.2)

Д. Г. ГРУММО, Н. А. ЗЕЛЕНКЕВИЧ

ФИТОИНДИКАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: zm.hrumo@gmail.com*

Аннотация. Изучена возможность применения фитоиндикационного подхода для картографического изучения экологических параметров окружающей среды. Исследования проводили на 5 модельных территориях Беларуси и России. В качестве исходных данных использованы крупномасштабные карты растительности, геоботанические описания, результаты инструментальных (рН, уровни стояния и электропроводность вод, физико-химические свойства торфа) и фитоиндикационных экологических наблюдений. Для фитометрических измерений применялись стандартные экологические шкалы Х. Элленберга, на основе которых рассчитывали индексы, характеризующие режим освещенности (mL), увлажнения (mF), кислотности субстрата (mR) и богатство почв азотом (mN). Фитоиндикационное картографирование проводили на основе рассчитанных индексов: 1) с использованием метода пространственной интерполяции (крикинг); 2) на основе геоботанической карты, где базовой единицей анализа является выдел растительности. Показано, что применение стандартных экошкал Х. Элленберга в условиях нашего региона вполне адекватно отражает экологические режимы природных экосистем. Это подтверждается как сравнением с инструментальными замерами, так и сопоставлением картографических продуктов, отражающих пространственные вариации параметров экологических режимов. В связи с этим применение фитоиндикационных показателей для изучения экологических режимов крупных природных комплексов без дополнительных инструментальных измерений вполне обоснованно. Фитоиндикационное картографирование может быть широко использовано в практике мониторинга с целью оценки экологических режимов природных комплексов, а также реакции элементов биоразнообразия (видов, сообществ, экосистем) на изменение экологических переменных.

Ключевые слова: фитоиндикация, экологические шкалы, геоботаническое картографирование, пространственная интерполяция, Березинский биосферный заповедник, национальный парк «Беловежская пуща», национальный парк «Смоленское Поозерье», заказник «Жада», заказник «Докудовский».

D. G. GRUMMO, N. A. ZELENKEVICH

PHYTOINDICATION MAPPING: THEORETICAL ASPECTS OF METHOD AND APPLICATION IN NATURAL ECOSYSTEM MONITORING

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: zm.hrumo@gmail.com*

Annotation. The possibility of phytoindication approach using for the cartographic learning of the environment ecological parameters studied. The studies carried out in 5 model areas of Belarus and Russia.

Large-scale vegetation maps, geobotanical descriptions, results of instrumental (pH and water levels, water conductivity, physical and chemical properties of peat) and phytoindicative environmental observations used as initial data. The standard ecological scales of H. Ellenberg used for phytometric measurements. Based on the scales, indices characterizing the regime of illumination (mL), moisture (mF), acidity (mR), and nitrogen (mN) calculated. Phytoindication mapping carried out on the calculated indices basis: 1) using the spatial interpolation method (cricking); 2) based on a geobotanical map, where the basic unit of analysis is a vegetation section. The using of standard eco-scales

by H. Ellenberg in our region adequately reflects the ecological regimes of natural ecosystems. This is confirmed both by comparison with instrumental measurements and by comparison of cartographic products that reflect spatial variations in the ecological regimes parameters. Thus, the using of phytoindicative indicators for studying the ecological regimes of large natural complexes without additional instrumental measurements is justified.

Phytoindication mapping can be widely used in monitoring practice to assess the ecological regimes of natural complexes, as well as the response of biodiversity elements (species, communities, ecosystems) to changes in environmental variables.

Keywords: phytoindication, ecological scales, geobotanical mapping, spatial interpolation, Berezinsky Biosphere Reserve, Belovezhskaya Pushcha, Smolenskoye Poozerye, Zhada Reserve, Dokudovsky Reserve.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе решения многих научных и хозяйственных вопросов возникает необходимость определения экологических условий, что нередко осуществляется методом фитоиндикации [1, 2]. Преимущество фитоиндикации над трудоемкими и сложными аналитическими методами состоит в дешевом и быстром получении информации о среде путем сравнительно простого анализа признаков растительности [1, 3–6].

Суть фитоиндикации условий местообитаний состоит в оценке экологической специфики видов, которые произрастают только в определенных границах изменения какого-либо экологического фактора. Растительное сообщество, которое формирует свою внутреннюю среду, в значительной степени определяет набор видов, который тонко реагирует на экологические изменения и отражает экологическую специфику биотопа [4]. Поэтому флористический состав ценоза является хорошим и чувствительным индикатором состояния, функционирования и динамики природных экосистем. Для оценки экологических факторов используются либо отдельные виды-индикаторы, либо совокупность всех видов, которые составляют сообщества, с учетом их обилия (проективное покрытие, биомасса).

В основу фитоиндикационных исследований, как правило, положены специальные шкалы. Методика их построения базируется на том принципе, что отдельным видам растений присваиваются значения экологических индикаторов по порядковому шкалам на основе «оптимумов» или «центров» их экониш вдоль заданных экологических градиентов (размеров ниш) [4, 7]. В настоящее время существует много шкал, которые дают либо характеристику экоморфы с помощью порядкового номера режима в шкале фактора (однозначные измерения), либо амплитуду толерантности видов, охарактеризованную их крайними значениями (двухзначные измерения) [2, 8–22]. Общая характеристика таких шкал приведена в табл. 1. Совсем недавно были опубликованы и новые системы [23–25].

Фитоиндикационные шкалы применяют для решения таких вопросов как экологическая

оценка земель по составу растительности [8, 10–13, 17, 18, 26, 27], выявление связей между растительным покровом и условиями экотопа, элементами рельефа и т.п. [1, 21, 28–35], между растительным покровом и животным миром [36, 37]. Многие труды посвящены применению фитоиндикационных показателей в лесной типологии [33, 38–41]. Большинство авторов, использовавших фитоиндикационные шкалы, отмечает их высокую результативность для ординации и классификации растительности [33, 42–48].

Фитоиндикационные шкалы, как правило, создаются на региональном материале, поэтому существует мнение, что ими нежелательно пользоваться на территории, лежащей за пределами района их создания. Каждая региональная шкала отражает объективную реальность, которая представляется в виде амплитуды толерантности видов. Понятно, что она может отличаться для других регионов. Методическая работа Ю. И. Самойлова [45] убедительно показывает, что утверждение о региональном значении шкал справедливо, но не в той мере, как считали некоторые исследователи [49]. Сравнение Ю. И. Самойловым [45] экологических шкал влажности почвы Л. Г. Раменского, Х. Элленберга, Р. Гундта и Э. Кнаппа не дает оснований для утверждений об их несовместимости. Напротив, априорные высказывания о необходимости использования только региональных шкал в значительной степени ошибочны: можно с одинаковым успехом использовать любые из проанализированных шкал [1]. Для решения проблемы регионального ограничения при использовании фитоиндикационных шкал в настоящее время проводятся исследования по созданию единой системы экологических показателей для Европы [22].

Фитоиндикационные (фитометрические) измерения могут быть широко использованы при составлении специальных карт для оперативной пространственной оценки состояния и изменения окружающей среды. На наш взгляд, потенциал такого направления тематического картографирования огромный, однако существует ряд проблем методологического характера, которые

мы пытались решить в рамках настоящей публикации. Основные задачи исследований: 1) выполнить комплекс сравнительных фитоиндикационных и инструментальных измерений базовых экологических параметров и дать оценку достоверности применяемых экологических шкал

для условий Беларуси; 2) разработать методику картографирования на основе фитометрических измерений; 3) составить для объектов исследования фитоиндикационные карты и определить возможности их использования в практике мониторинга природных экосистем.

Таблица 1. Общая количественная оценка экологических шкал, баллы [1]

Table 1. Overall quantitative assessment of environmental scales, points [1]

Автор	Экологический фактор													
	F	fH	Tr	Rc	Nt	Gm	Ae	Tm	Om	Kn	Cr	Lc	Dg	Ca
Ellenberg [18]	12	–	3	9	9	–	–	9	–	9	–	9	–	–
Landolt [14]	5	4	2	5	5	5	5	5	–	5	–	5	–	–
Zolyomi [9]	11	–	–	6	–	–	–	7	–	2	–	–	–	–
Frank, Klotz [20]	12	2	3	9	9	–	–	9	–	9	–	9	–	–
Цыганов* [16]	23	11	19	13	11	–	–	17	15	15	15	9	–	–
Раменский* [8]	120	20	30	–	–	–	10	–	–	–	–	–	10	–
Цаценкин* [11, 12]	120	–	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	–
Дидух, Плюта* [21]	23	11	19	13	11	11	15	17	23	17	15	9	–	13

Примечания. F – увлажнение субстрата; fH – переменность увлажнения; Tr – общий солевой режим; R – кислотность субстрата; N – богатство субстрата азотом; Gm – содержание гумуса; Ae – аэрация грунта; Tm – температурный режим; Om – омброклимат; Kn – континентальность климата; Cr – криоклимат; L – освещенность; Dg – пастбищная дигрессия; Ca – содержание карбонатов в почве. * – шкалы, в которых приводится амплитуда факторов

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2010–2022 гг. в пределах 5 модельных территорий (рис. 1): республиканский заказник (РЗ) «Жада» (Миорский и Шарковщинский районы Витебской области), РЗ «Докудовский» (Лидский район Гродненской области), Березинский биосферный заповедник (Лепельский и Докшицкий районы Витебской области), национальный парк (НП) «Беловежская пуца» (Камянецкий, Пружанский районы Брестской области, Свислочский район Гродненской области), НП «Смоленское Поозерье» (Демидовский, Духовщинский районы Смоленской области Российской Федерации).

Для каждого объекта исследований были составлены крупномасштабные геоботанические карты (М 1: 25 000–1: 100 000). При их подготовке были использованы результаты наземных исследований, материалы разновременной аэрокосмической информации, литературные и картографические источники, данные земле- и лесоустройства. При картографировании растительности использована авторская методика [50, 51]. На каждой модельной территории было выполнено от 64 до 851 полных геоботанических описаний в зависимости от площади объекта исследования, типологического разнообразия растительного покрова и сложности ландшафтной структуры.

Для определения экологических характеристик непосредственно при проведении полевых исследований, а также в камеральных условиях инструментально измеряли ряд показателей (уровень залегания вод, pH, электропроводность). Для замера уровней стояния воды использовали открытые колодцы или устанавливали смотровые скважины с обсадными трубами. Определение реакции вод (нефильтрованной) производили pH-метром HI-8314, электропроводности (ЕС) – кондуктометром HI-9033 [47]. Изучение физико-химических свойств почв проводили по классическим методикам, применяемым в почвоведении и агрохимии [52]. Всего с измерением базовых экологических параметров (увлажнение, кислотность и богатство субстрата) в исследованиях было выполнено более 200 полных геоботанических описаний.

В наших исследованиях использовали стандартные экологические шкалы Х. Элленберга [18]. Этот выбор связан с тем, что эти шкалы являются наиболее полными и включают экологические характеристики для таких таксономических групп как мохообразные и лишайники, представители которых являются эдификаторами и доминантами растительных сообществ в нашем регионе.



Рис. 1. Размещение объектов исследования

Fig. 1. Location of research objects

Для экологической оценки фитоценоза (Y) рассчитывали средневзвешенные балльные показатели (индексы) по формуле [48]:

$$Y = \frac{k_1 X_1 + k_2 X_2 + \dots + k_n X_n}{k_1 + k_2 + \dots + k_n},$$

где $X_1, X_2 \dots X_n$ – значения толерантности каждого вида по данному фактору; n – количество информативных видов, имеющих в описании; k – балл обилия или проективного покрытия вида (1 – до 5%, 2 – от 5 до 15%, 3 – от 16 до 25%, 4 – от 26 до 50%, 5 – более 50%).

Рассчитывали индексы, характеризующие режим освещенности (mL), увлажнения (mF), кислотности субстрата (mR) и богатство почв азотом (mN).

Математико-статистическую и картографическую обработку результатов непосредственных измерений проводили с применением стандартных пакетов программ MS EXCEL, GRAPHER, STATISTICA, PC-ORD, ArcGIS, SURFER, MAPVIEWER [53–55 и др.].

Картографирование экологических режимов, установленных на основе инструментальных и фитоиндикационных измерений, осуществляли по 2 направлениям:

1. На основе интерполяционных расчетов. Для этих целей выполненные инструментальные и фитоиндикационные измерения были уложены в систему координат X–Y–Z, а реконструкция непрерывности выполнена с помощью методов интерполяции, оценивающих значения переменной, там, где эти описания производились.

В качестве метода пространственной интерполяции использовали *крикинг*, который обеспечил хороший компромисс между скоростью вычисления и качеством интерполяции [56, 57]. Расчеты проводили с применением стандартного программного пакета ArcGIS 10.5, который позволяет по опытным точкам рассчитывать концентрации в узлах регулярной сетки желаемой густоты. Затем по этой расчетной сетке строили изолинии распределения значений измерений с заданным шагом.

2. На основе геоботанической карты. Составляли актуальную цифровую карту растительности, а также базы данных, содержащие поконтурные фитометрические характеристики экологических режимов (рис. 2). Опорной территориальной единицей для синфитоиндикационной оценки принимался фитоценоз, границы которого совпадали с границами контура растительности на тематической карте.

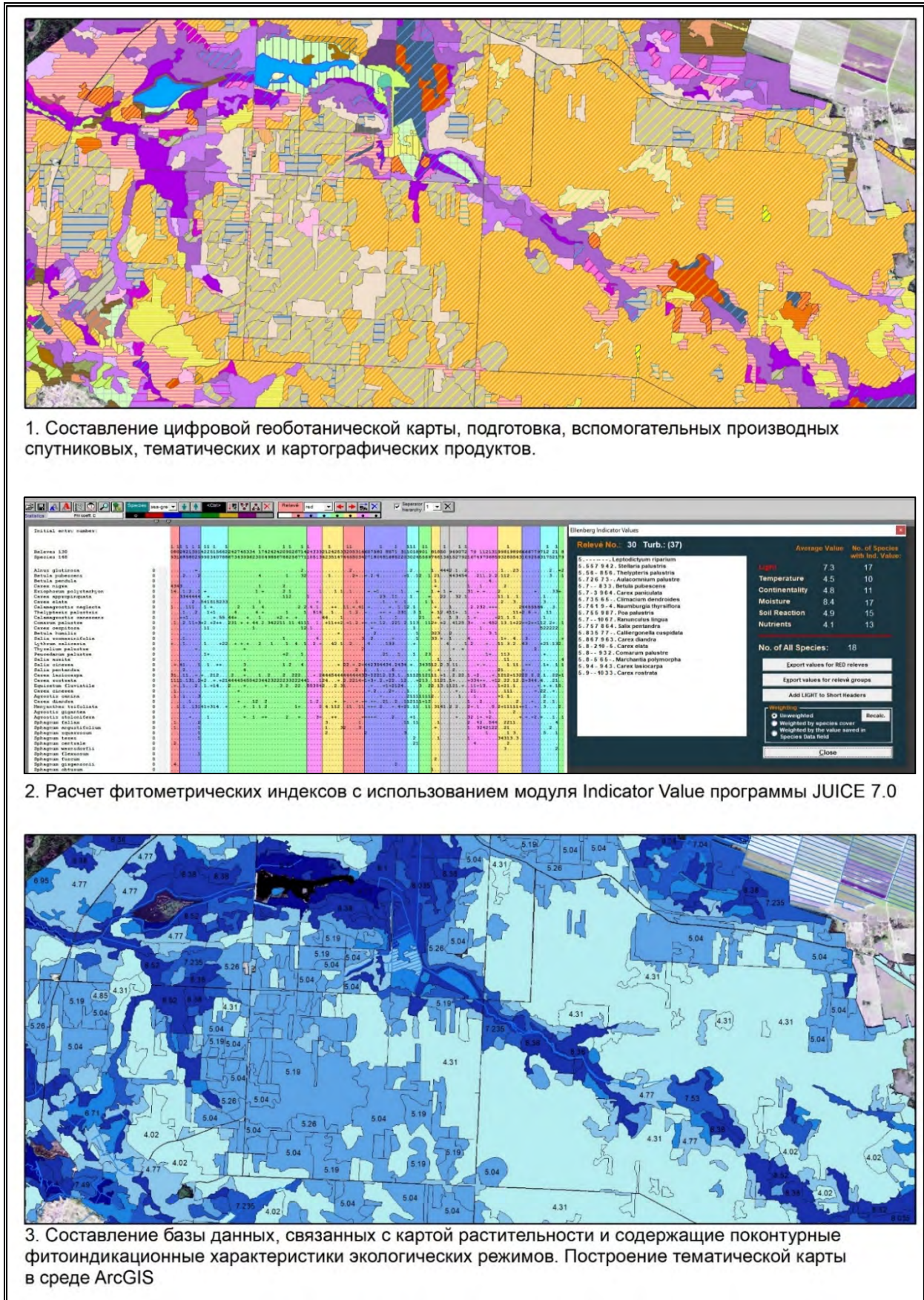


Рис. 2. Схема составления фитоиндикационных карт национального парка «Беловежская пушча»

Fig. 2. Phytosociological maps compiling scheme for the National Park "Belovezhskaya Pushcha"

Поскольку для крупных территорий (НП «Беловежская пуща», Березинский биосферный заповедник) для каждого выдела растительности (их количество составляло от 10,5 до 36,5 тысяч) было чрезвычайно трудоемко сделать уникальное геоботаническое описание, использовали двухстадийное заполнение базы синфитоиндикационных значений: 1) для выдела карты растительнос-

ти, где непосредственно проводили описание растительного сообщества, присваивали рассчитанные значения фитоиндикационных индексов; 2) для фитоценозов, где не были выполнены индивидуальные описания, проводили экстраполяцию путем присвоения геоботаническому выделу медианного значения индекса, рассчитанного для каждого картируемого таксона растительности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований нами была изучена целесообразность и достоверность применения экологических шкал Х. Элленберга для пространственной оценки распределения экологических параметров окружающей среды в условиях Беларуси. В результате исследований установлено, что стандартные экологические шкалы, демонстрируют довольно высокий уровень взаимосвязи инструментальных измерений экологических параметров местообитаний и данных фитоиндикационной оценки (рис. 3, табл. 2).

В отношении ведущих экологических факторов функционирования растительных сообществ (влажность и кислотность субстрата) коэффициенты парной корреляции инструментальных и фитоиндикационных измерений составили: а) уровень стояния вод (УСВ) в смотровых колодцах и индекс увлажнения – 0,801 ($n=194$; $t_{\text{факт}}=18,64 > t_{\alpha}=3,34$; $p<0,01$); б) pH болотных вод

и индекс кислотности субстрата – 0,775 ($n=194$; $t_{\text{факт}}=18,64 > t_{\alpha}=3,34$; $p<0,01$). При этом следует отметить смещение исследованной выборки в сторону влажных (mF) и кислых (mR) условий, что связано с тем, что ядро исследованных модельных территорий составляли верховые (олиготрофные) болота.

Для комплекса модельных болот национального парка «Смоленское Поозерье» коэффициенты корреляции между инструментальными и фитоиндикационными измерениями составили (см. табл. 2): а) УСВ – mF=0,822 ($n=20$; $t_{\text{факт}}=6,13 > t_{\alpha}=3,92$; $p<0,01$); б) pH – mR=0,947 ($n=17$; $t_{\text{факт}}=11,44 > t_{\alpha}=4,07$; $p<0,01$). Таким образом, результаты исследований показывают, что значения индикаторов Х. Элленберга в условиях Беларуси и западной части России (Смоленская область) в значительной степени верны.

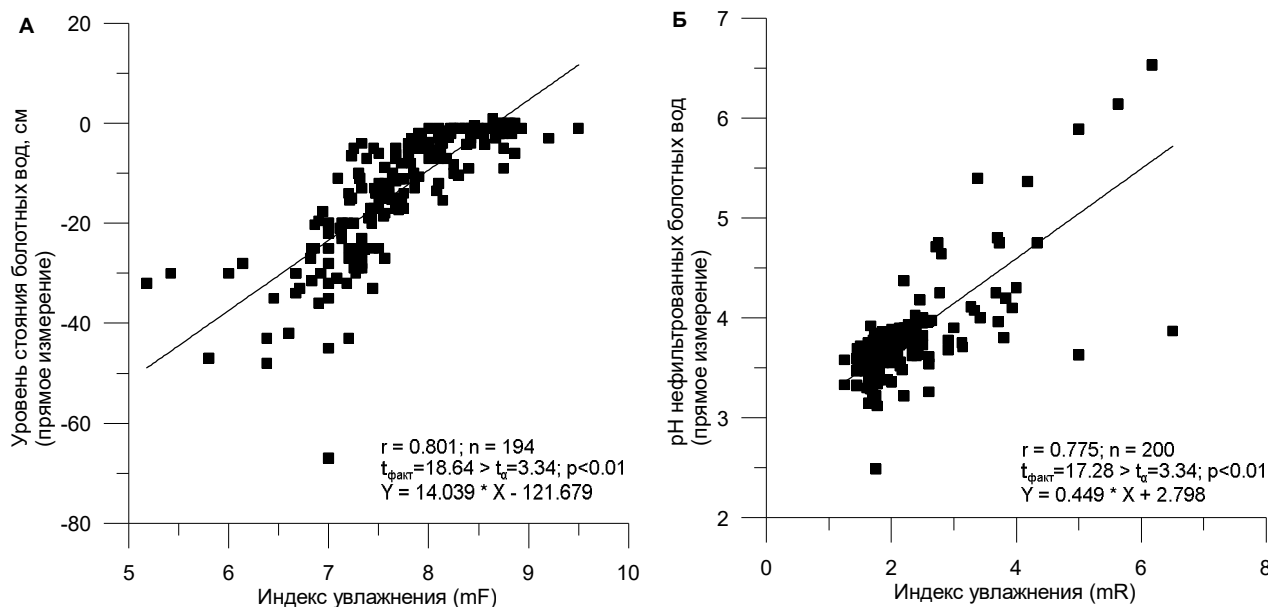


Рис. 3. Характеристика связи инструментальных измерений и данных фитоиндикационной оценки режима увлажнения (А) и кислотности (Б) местообитаний для исследованной выборки (модельные территории РЗ «Докудовский», «Березинский биосферный заповедник», РЗ «Жада»)

Fig. 3. The relationship characteristics between instrumental measurements and phytoindicative assessment of the moisture regime (A) and acidity (B) of habitats for the studied sample (model territories of the Dokudovsky Reserve, Berezinsky Biosphere Reserve, Zhada Reserve)

Таблица 2. Характеристика уровня взаимосвязи инструментальных измерений и фитоиндикационной оценки местообитаний**Table 2.** Characteristics of the relationship level between instrumental measurements and phytoindicative assessment of habitats

Вид инструментальных измерений	Фитоиндикационная оценка по шкалам Х. Элленберга, баллы	Коэффициент корреляции с фитоиндикационной оценкой	$t_{\text{факт}}$	$t\alpha$	p
«Белорусские» модельные территории (РЗ «Докудовский», «Березинский биосферный заповедник», РЗ «Жада»)					
Уровень стояния вод в смотровых колодцах в меженный период (n=196)*	mF	0,801	18,64	3,34	<0,01
pH (n=196)	–	0,775	17,28	3,34	<0,01
ЕС, $\mu\text{S}/\text{см}$ (n=60)	mN	0,619	6,0	3,47	<0,01
ЕС, $\mu\text{S}/\text{см}$ (n=60)	mR	0,711	7,71	3,47	<0,01
Модельная территория «Смоленское Поозерье»					
Уровень стояния вод в смотровых колодцах в меженный период (n=17)	mF	0,822	6,13	3,92	<0,01
pH	mR	0,947	11,44	4,07	<0,01
Примечание. * – Болотные воды (нефильтрованные).					

Выявлена статистически достоверная связь фитоиндикационных значений с pH почв и индексами кислотности субстрата (mR) – 0,775 (n=51; $t_{\text{факт}}=8,74 > t\alpha=3,50$; $p<0,01$) и богатством субстрата (mN) – 0,780 (n=46; $t_{\text{факт}}=9,53 > t\alpha=3,53$; $p<0,01$). С остальными показателями физико-химических свойств почв взаимосвязь отсутствует или прослеживается только как выраженная тенденция (табл. 3).

Установлены существенные различия в распределении значений экологических параметров по типам растительных сообществ, что подтверждает наше предположение о возможности более широкого использования фитоиндикационных оценок на основе геоботанических карт (рис. 4, 5).

Составленные на основе фитоиндикационных и инструментальных измерений картосхемы (метод интерполяции – крикинг) имеют довольно высокое сходство. Например, коэффициент парной корреляции для выборки данных, извлеченных из таких карт для фитоиндикационных и инструментальных измерений режима кислотности местообитаний модельной территории «Докудовский»

составил – 0,935 (n=75; $t_{\text{факт}}=22,15 > t\alpha=3,43$; $p<0,01$) (рис. 6).

В целом, анализируя карты-схемы (рис. 7–9), следует отметить, что для модельной территории РЗ «Докудовский» синфитоиндикационная оценка (в баллах) режима увлажнения (mF) по типам местообитаний находится в пределах от 5,18 (умеренно влажные) до 9,5 (мокрые). Наименее увлажненные биотопы сконцентрированы по периферии центральной части исследованной территории (верхового болота), а также примыкают к мелиоративным системам и полям торфодобычи. На этих участках в условиях существенного снижения уровня стояния болотных вод сформировались вторичные растительные сообщества (№ 11–13, см. рис. 5). Наибольшая обводненность (mF=8,25–9,0) характерна для окраинной части в западном направлении, а также на участках спущенного озера Глуховец (северо-восточный сектор). Медиана для выборки значений mF=7,08, что является индикатором преобладания влажных биотопов (см. рис. 4, 7).

Таблица 3. Характеристика уровня взаимосвязи инструментальных измерений и фитоиндикационной оценки местообитаний РЗ «Докудовский»**Table 3.** Characteristics of the relationship level between instrumental measurements and phytoindicative assessment of the Dokudovsky reserve habitats

Фитоиндикационная оценка по шкалам Х. Элленберга, баллы	Верхний (0–5 см) слой торфяно-болотных почв				
	Влажность, %	Зольность, %	pH _{ксл}	Гидролитическая кислотность, ммоль/100г	Сумма оснований, ммоль/100г
mF	-0,259				
mR		-0,096	0,821	-0,127	0,113
mN		-0,217	0,780	-0,298	0,135

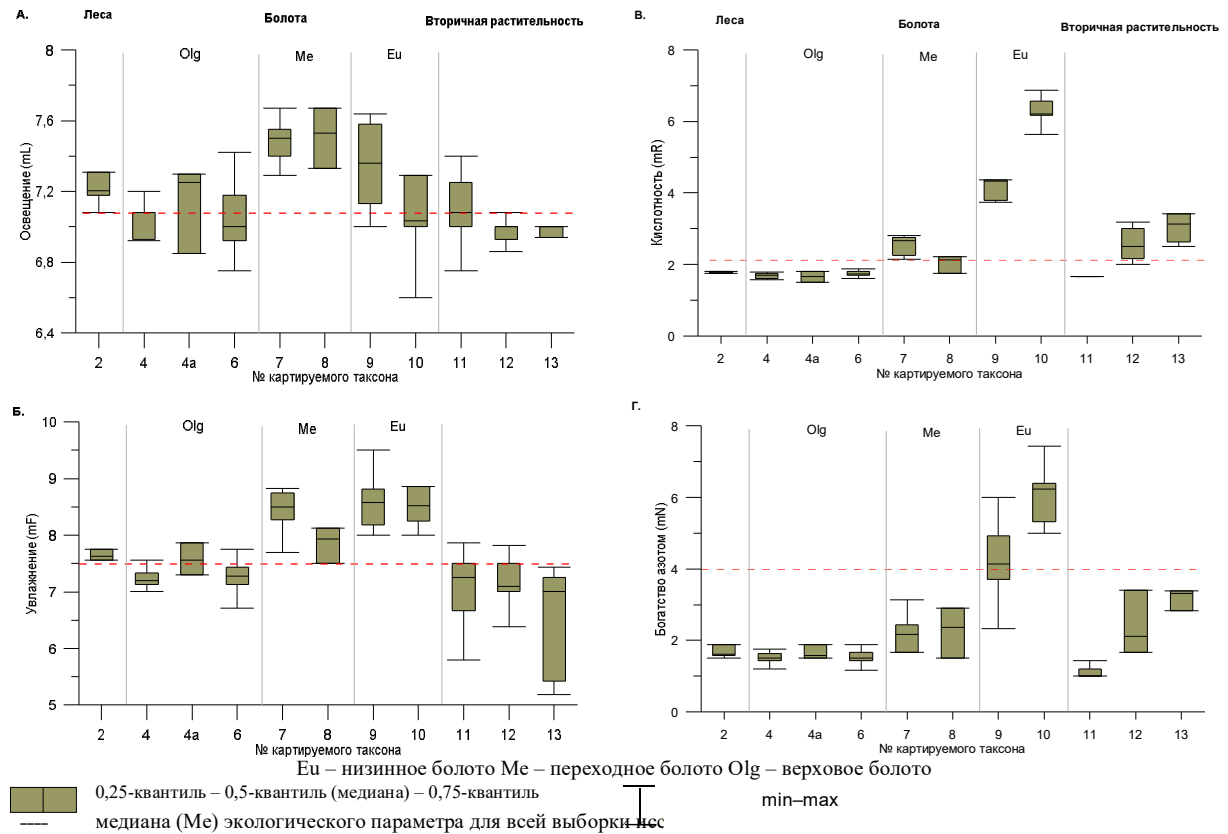


Рис. 4. Синэкологические амплитуды растительных сообществ модельной территории РЗ «Докудовский» по режимам освещенности (А), кислотности (Б), обеспеченности субстрата азотом (В) и влажности (Г) (коды типов растительных сообществ см. на рис. 5)

Fig. 4. Plant communities synecological amplitudes in the model area of the Dokudovsky reserve in lighting conditions (A), acidity (B), nitrogen (C) and humidity (D) (codes of plant communities types see in Fig. 5)

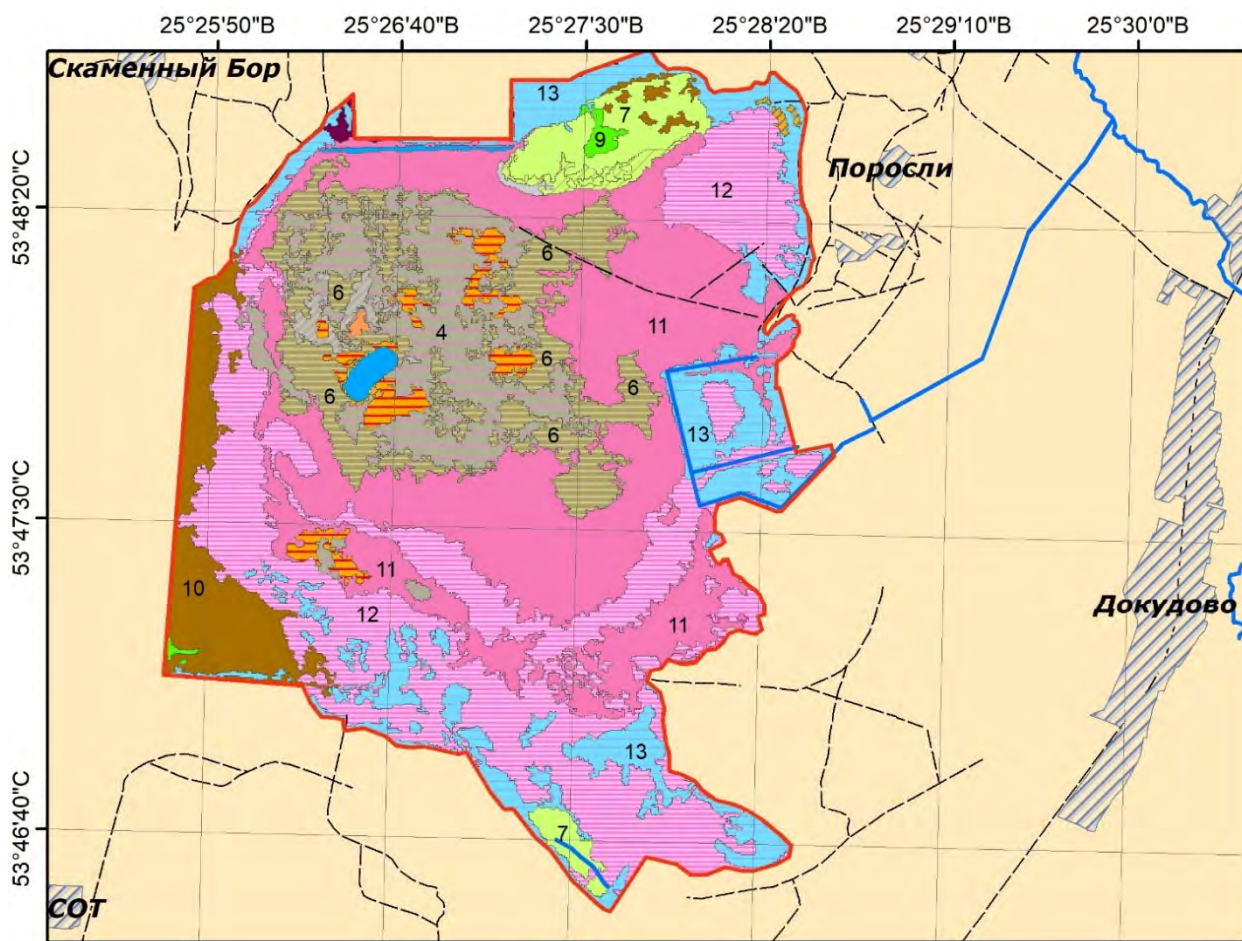
Значения индекса кислотности (mR) для местообитаний модельной территории «Докудовский» находится в пределах 1,66 (крайние (pH=2–3) ацидофильные условия) до 6,05 (умеренный ацидофильный (pH=5–6) режим). Медианное значение mR составляет 2,68, что свидетельствует о преобладании сильнокислых (pH=2–3) и кислых местообитаний (pH=4–5). Наиболее низкие значения кислотности (mR и pH) отмечаются в центральной части, где размещается местообитание верхового (олиготрофного) болота (см. рис. 7).

Фитоиндикационные показатели обеспеченности субстрата азотом (mN) по типам местообитаний варьируют в широком диапазоне: от 1,0 (ультраолиготрофные условия) до 7,44 (мезоэвтрофные), при медианном значении mN=2,48 (олиготрофные). Наиболее богатые азотом местообитания размещены по периферии модельной территории, наиболее бедные – в центральной части и приурочены к олиготрофному болоту (см. рис. 9).

Наиболее высокие значения индекса освещенности (mL=7,3–7,6) характерны для сохранившихся растительных сообществ переходных и низинных болот, слабо облесенных со стабильным гидрологическим режимом в северо-восточной части модельной территории (см. рис. 5).

Фитоиндикационные исследования экологических условий в сочетании с инструментальными измерениями были нами выполнены на 3-х модельных болотах национального парка «Смоленское Поозерье», отличающихся по структуре растительного покрова, уровню обводненности, кислотности и богатству субстрата доминирующих местообитаний (рис. 10–12).

Уровень стояния вод в пределах болота Большой Колпицкий Мох (экологический профиль (ЭПР) № 1) находится в диапазоне от -35 до +1 см. Наиболее обводненной является краевая топь по периферии верхового болота. В центральной части болота УСВ находится в пределах -26...-20 см. Вдоль ЭПР № 2 (Демьяновский водно-болотный комплекс) глубина залегания вод составляет от -9 до +10 см (см. рис. 11).



Легенда

Типы растительных сообществ

1. Сосновые кустарничково-зеленомошно-сфагновые (*Pinus sylvestris* f. *uliginosa* + обычная форма [h=5–8 м], *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Sphagnum angustifolium*, *S. divinum*, *Pleurozium Scheberi*, *Dicranum polysetum*)
2. Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые леса (*Pinus sylvestris* f. *litwinowii* [h=3–5 м], *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*, *Andromeda polifolia*, *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*)
3. Сосновые и березово-сосновые мезоолиготрофно-травяно-сфагновые (*Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *C. nigra*, *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus palustris*, *Sphagnum fallax*, *S. angustifolium*)
4. Березовые и сосново-березовые кустарничково-сфагново-политриховые редколесья на месте гарей 1996–2002 гг. (*Pinus sylvestris* [h=2–5 м], *Betula pendula* [h=3–6 м], *Calluna vulgaris*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*)
- 4а Сосново-кустарничково-политрихово-сфагновые (*Pinus syl-vestris* f. *uliginosa* + f. *litwinowii* [h=3–5 м, нередко отпад до 75–100%], *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*, *S. rubellum*) со следами пожаров >20-летней давности
5. Пушицево-кустарничково-сфагновые (*Eriophorum vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Calluna vulgaris*, *Oxycoccus palustris*, *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*, *S. rubellum*)
6. Кустарничково-сфагново-политриховые (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*, *S. rubellum*, *S. molle*) с обильным подростом (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Populus tremula*) производные пожаров 1999–2002 гг.
7. Осоково-пушицево-травяно-сфагновые (*Carex rostrata*, *Eriophorum vaginatum*, *E. polystachion*, *Menyanthes trifoliata*, *Comarum palustre*, *Sphagnum fallax*, *S. angustifolium*) редко поросшие сосной и березой (*Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*)
8. Кочковато-ковровый комплекс:
кочки: кустарничково-сфагновые (*Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Calluna vulgaris*, *Sphagnum divinum*);
ковры: осоково-пушицево-сфагновые (*Eriophorum vaginatum*, *E. polystachion*, *Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *Sphagnum fallax*, *S. angustifolium*)
9. Тростниковые заросли (*Phragmites australis*)
10. Ивняки (*Salix cinerea*, *S. aurita*, *S. pentandra*)
11. Вересковые пустоши на гарях с фрагментированным моховым покровом (*Calluna vulgaris*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum divinum*, *S. angustifolium*, *S. rubellum*, *S. molle*)
12. Вересково-осоково-долгомошная пустошь на гарях (*Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Epilobium palustre*, *Agrostis canina*, *Carex nigra*, *Polytrichum strictum*, *P. commune*, *Aulacomnium palustre*) с обильным подростом осины (*Populus tremula*), иногда с ивами *Salix cinerea*, *S. aurita*)
13. Лиственное мелколесье [h=4–6 м] с фрагментированным напочвенным покровом (*Betula pendula*, *Populus tremula*, *Pinus sylvestris*, *Salix cinerea*, *Calluna vulgaris*, *Pteridium aquilinum*, *Molinia caerulea*, *Polytrichum commune*)
14. Участки, непокрытые растительностью
15. Мезотрофные сообщества

Рис. 5. Карта растительности модельной территории РЗ «Докудовский» (по состоянию на 2010 г.)

Fig. 5. Vegetation map of the Dokudovsky reserve model area (as of 2010)

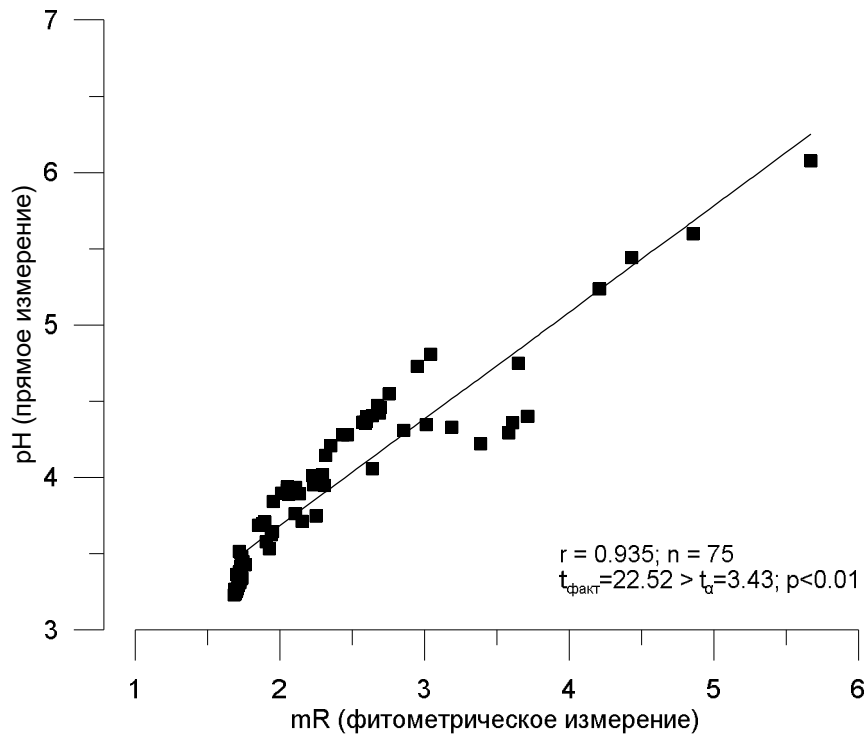


Рис. 6. Характеристика связи аналитических данных из карт, построенных на основе инструментальных измерений, и данных фитоиндикационной оценки режима кислотности местообитаний модельной территории «Докудовский»

Fig. 6. Characteristics of the relationship of analytical data acidity regime for the instrumental measurement basis map and phytointicative assessment map of Dokudovsky reserve habitats

Величина рН нефильтрованных болотных вод в местообитаниях, где выполнены геоботанические описания, лежит в пределах от 3,1 до 6,7, спектр значений сконцентрирован преимущественно в диапазоне 3,2–3,5 (ЭПР № 1) и 6,1–6,4 (ЭПР № 2) (см. рис. 11).

В пределах верхового болота (ЭПР № 1) наибольшие значения ($4,16 \pm 0,03$) рН вод характерны для олигомезотрофной окраины (соч. *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum fallax*). По мере продвижения к центру болота величина рН поступательно снижается и составляет – 3,1–3,3 на вершине верхового болота в сообществах асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* и *Sphagnopinetum sylvestris* (см. рис. 11).

В границах Демьяновского водно-болотного комплекса (ВБК) значения рН (ЭПР № 2) находятся в узком диапазоне значений (5,74–6,73), что свидетельствует о слабой эколого-фитоценотической дифференциации растительного покрова. Наиболее высокие значения рН вдоль ЭПР № 2 выявлены по периферии болотного массива (асс. *Carici elongatae* – *Aletum glutinosae*), минимальные – в наиболее обводненном участке профиля (асс. *Stratiotetum aloidis*). В центральной части профиля (асс. *Equiseto fluviatilis* – *Caricetum rostratae*, *Thelypterido palustris*

– *Phragmitetum australis*, *Phragmitetum australis*) диапазон значений рН составляет от 6,13 до 6,42.

Электропроводимость водных растворов в местообитаниях сфагнового болота (ЭПР № 1) составляет 64–118 $\mu\text{S}/\text{см}$, что соответствует содержанию 0,03–0,06% водорастворимых солей (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-). Наиболее низкие значения ЕС болотных вод отмечены в местообитаниях мочажин и топей верхового болота. В болотных лесах на верховых болотах ЕС вод увеличивается и составляет 93–118 $\mu\text{S}/\text{см}$ (см. рис. 11).

Местообитания низинного болота (ЭПР № 2) характеризуются значительно более высокой электропроводимостью водных растворов. Диапазон значений составляет 296–387 $\mu\text{S}/\text{см}$ (0,15–0,19% содержания водорастворимых солей), без существенного тренда вдоль линии профиля (см. рис. 11).

Фитоиндикация экологических режимов модельных болот вдоль трансект (см. рис. 12) имела следующие характеристики. Значения индекса кислотности (mR) для описанных растительных сообществ находились в пределах: 1,67–2,42 (верховое болото) <2,90–3,1 (переходное) <4,8–5,3 балла (низинное болото). Рассчитанные индексы индицируют типы режимов кислотности субстрата в диапазоне от очень кислых (рН <3,7) и кислых (рН 3,7–4,5) до слабокислых (рН 5,5–6,5) и нейтральных (рН 6,5–7,1).

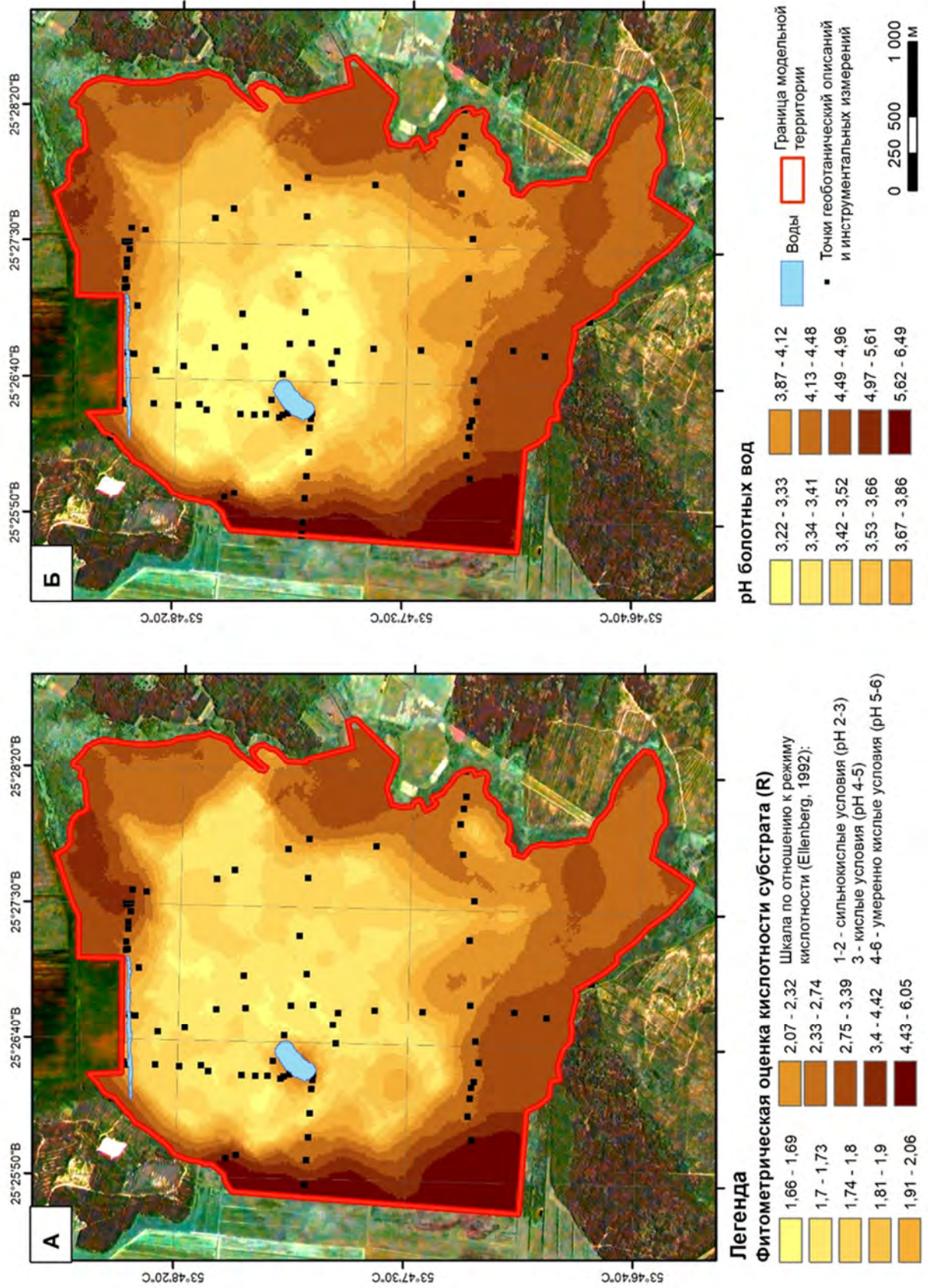


Рис. 7. Картограммы оценки кислотности субстрата местообитаний на основе фитоиндикационных и прямых инструментальных измерений (июль 2010 г.)

Fig. 7. Estimated maps for the habitats acidity based on phytoindicative and instrumental measurements (July 2010)

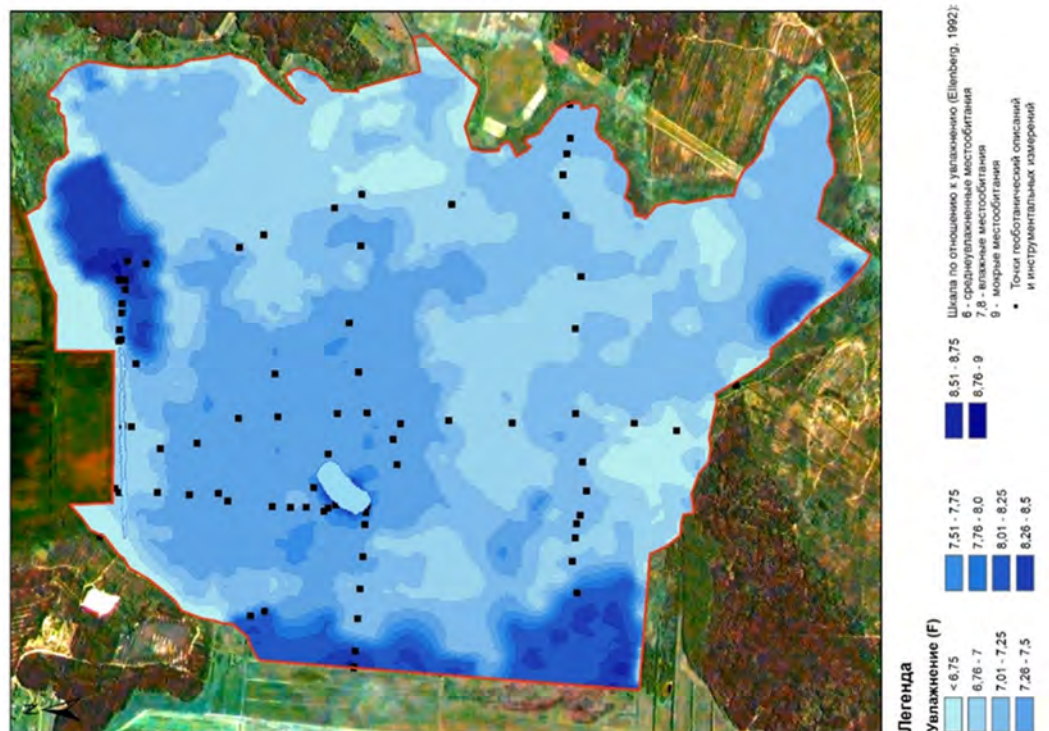


Рис. 8. Картограмма фитоиндикационной оценки влажности местообитаний модельной территории «Докудовский» (июль 2010 г.)

Fig. 8. Map of the phytointerimative assessment of the habitats humidity in the Dokudovsky reserve (July 2010)

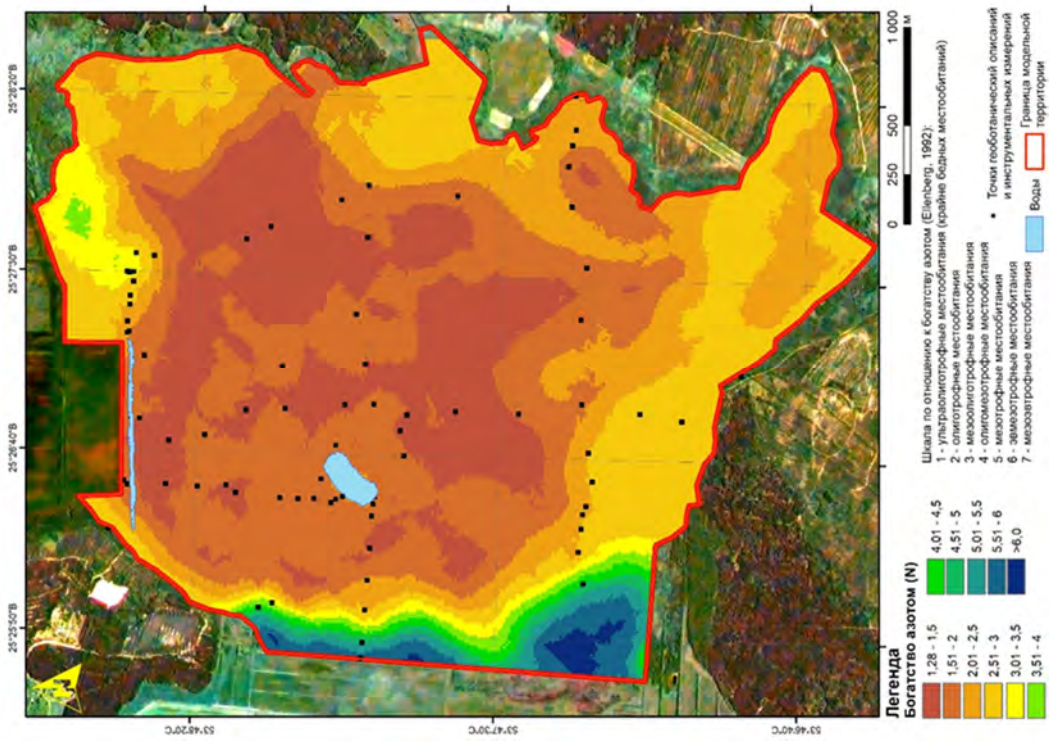


Рис. 9. Картограмма фитоиндикационной оценки богатства азотом местообитаний модельной территории «Докудовский» (июль 2010 г.)

Fig. 9. Maps of phytointerimative assessment of habitats nitrogen richness in the Dokudovsky reserve (July 2010)

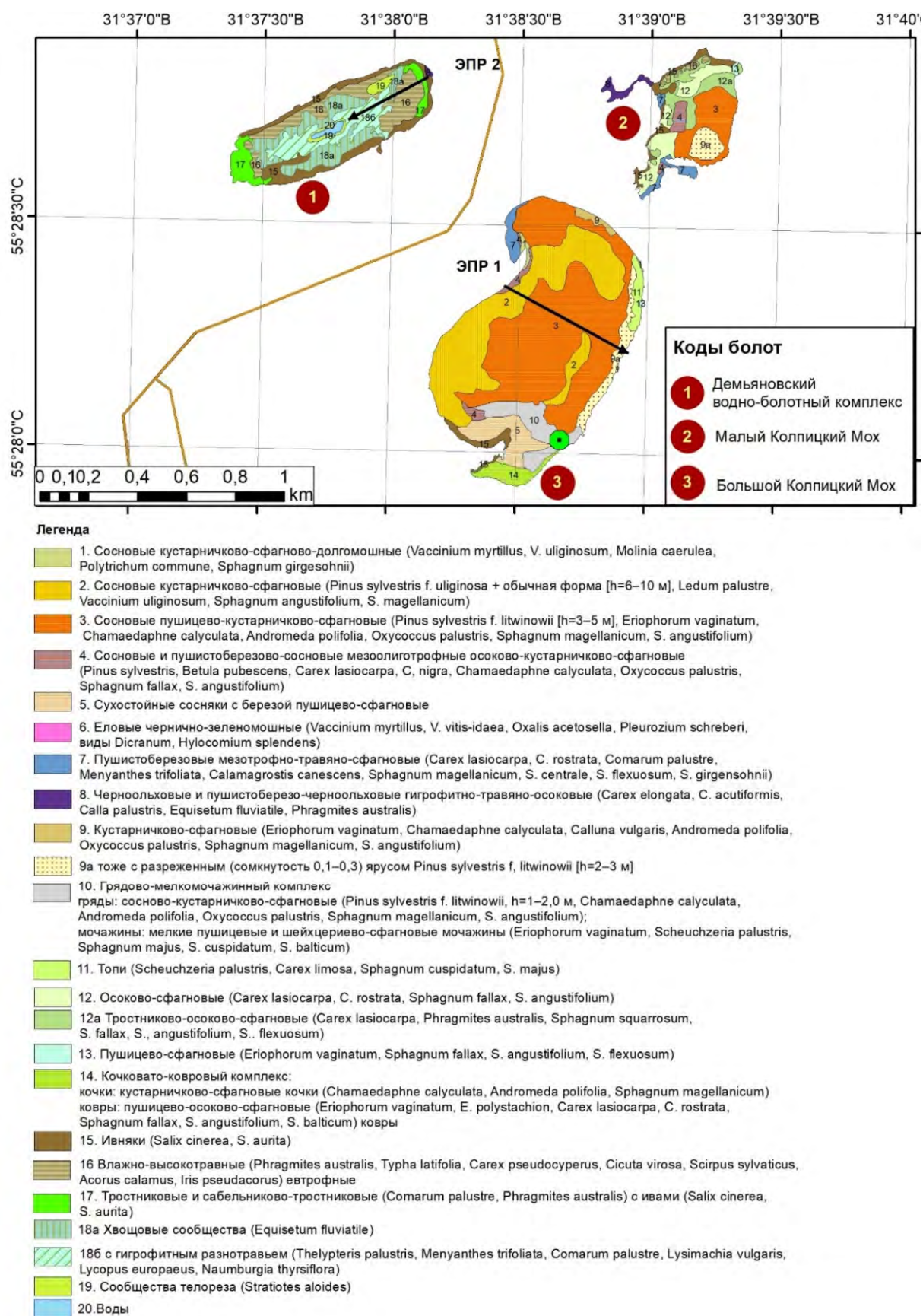


Рис. 10. Карта растительности эталонных водно-болотных комплексов национального парка «Смоленское Поозерье» (2013 г.)

Fig. 10. Vegetation map of the model wetland complexes of the Smolenskoye Poozerye National Park (2013)

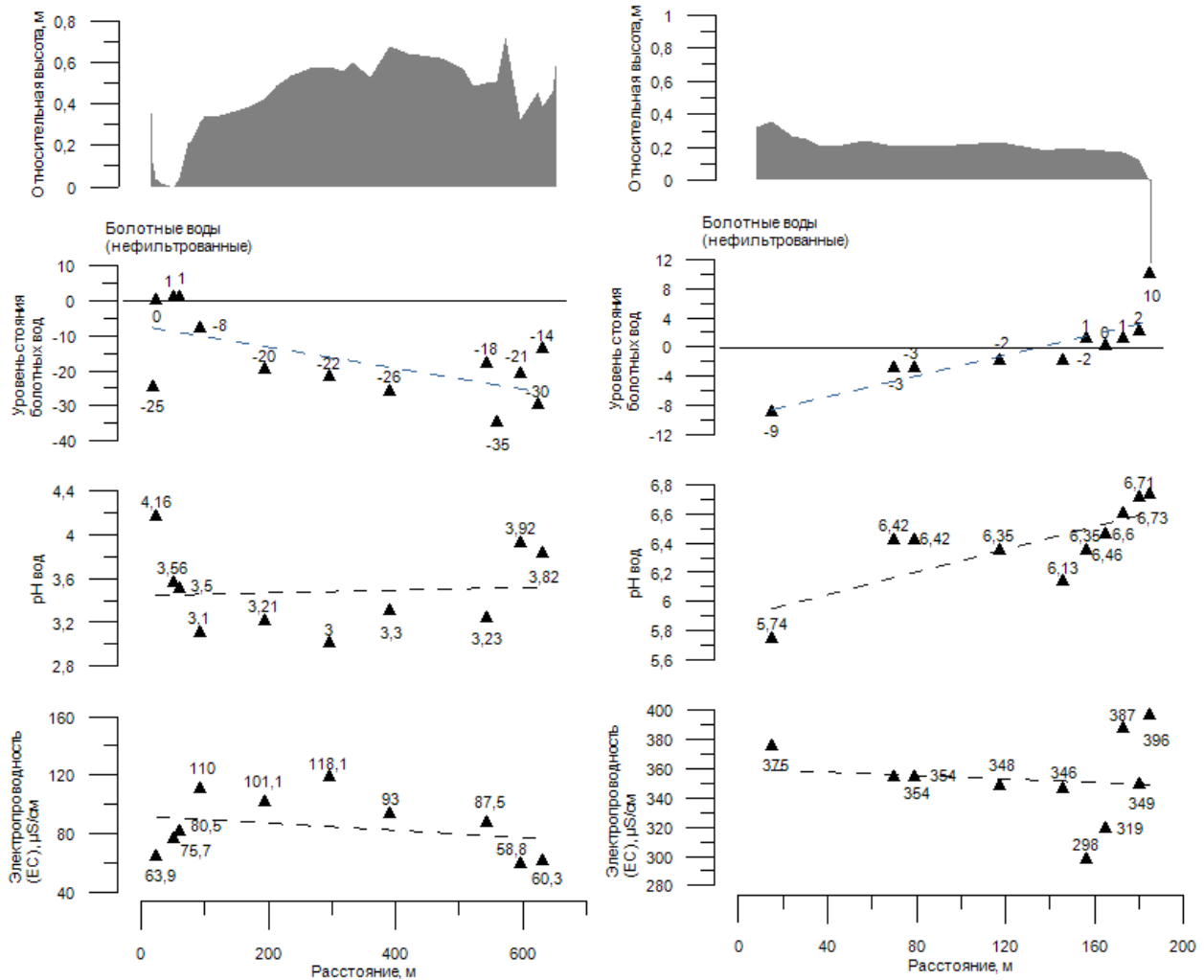


Рис. 11. Изменение уровня стояния, pH и электропроводности болотных вод в местообитаниях на объектах мониторинга ЭПР № 1 и № 2

Fig. 11. Changes in water levels, pH and conductivity of mire water at the monitoring sites habitats EP 1 and 2

Фитоиндикационные индексы по отношению к обеспеченности субстрата азотом (mN) в модельных болотах образуют следующий ряд: 1,5–1,23 (верховое болото) < 2,82–2,73 (мезотрофные) < 4,9–5,25 баллов (эвтрофные), что соответствует диапазону от очень бедных до умеренно богатых азотом почв. Наиболее низкие значения соответствуют растительным сообществам гряд и мочажин верховых болот, максимальные – травяным и травяно-осоковым ассоциациям, развивающимся на низинных болотах (см. рис. 12).

Индекс увлажнения (mF) на участках верхового болота (ЭПР № 1) находятся в пределах от 6,82 (сосняки багульниковые (асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris*) по периферии болота и на хорошо дренируемых склонах) до 8,99 балла (сообщества мочажин и топей). Для исследованных мезотрофных участков сфагнового болота mF составил в среднем 7,5–8, а на участках

низинного болота (ЭПР № 2) – 8,9–9,7 баллов. Значения индексов увлажнения в ВБК № 1 (Демьяновский ВБК) составляет 8,39–10,0. На большей части территории значения индексов находятся в пределах 9–9,5 баллов (УСВ=+3 – +10 см). Наиболее обводненные участки (фрагмент зарастающего озера) выявлены в центральной части ВБК (см. рис. 12).

Значения индекса освещенности вдоль линии двух трансект находятся в довольно близких диапазонах (mL=6,4–7,6), что связано с тем, что описания выполнены преимущественно в растительных сообществах, где древесный ярус отсутствует или сильно разрежен. Наиболее затененные участки соответствуют местообитаниям болотных сосняков (6,78–6,82 балла), самые освещенные – топи и мочажины верхового болота (ЭПР № 1), а также открытые участки низинного болота (ЭПР № 2) (см. рис. 12).

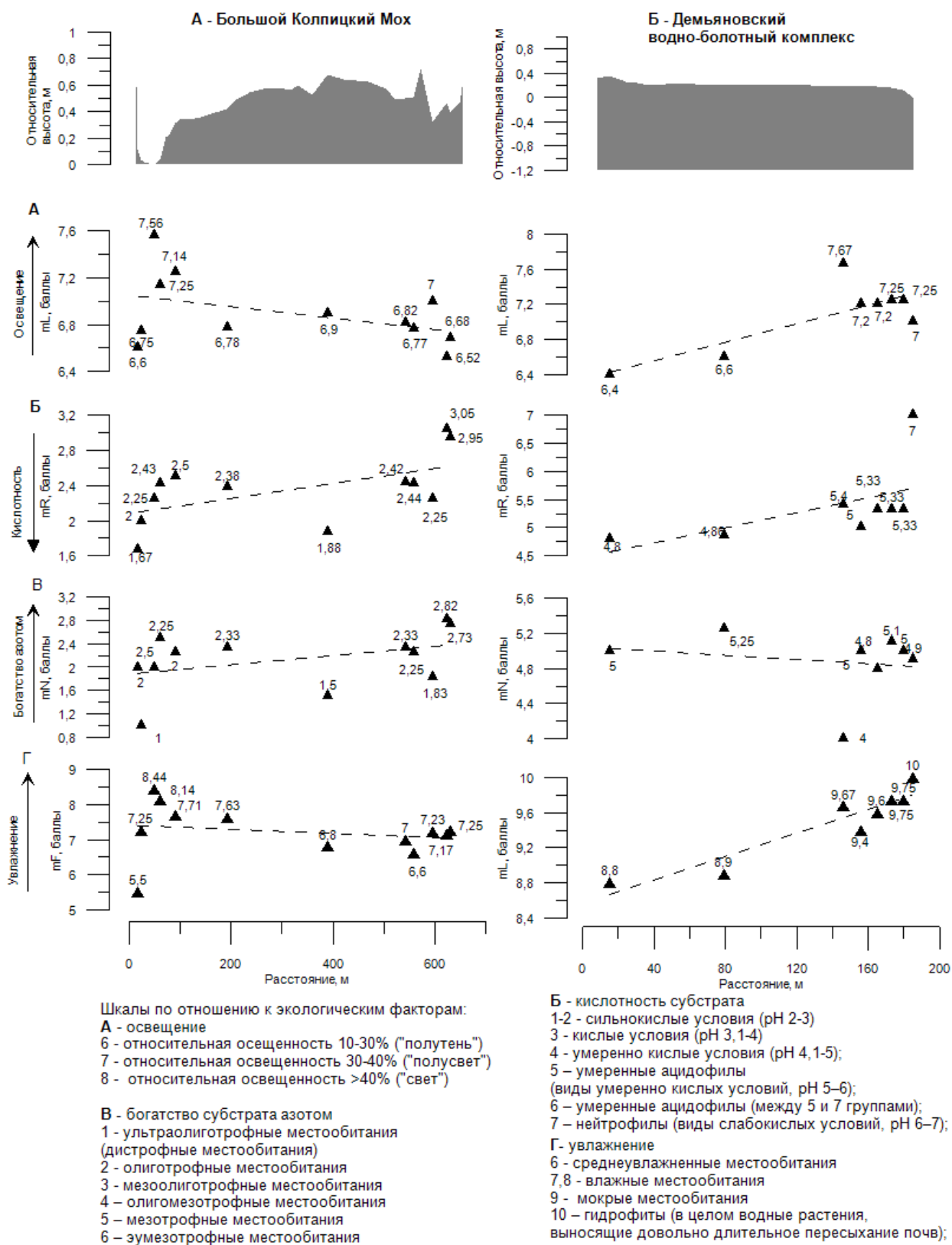


Рис. 12. Изменения средневзвешенных значений индексов по отношению к факторам освещенности (mL), увлажнения (mF), кислотности (mR) и богатства почв азотом (mN) в растительном покрове ЭПР № 1 и № 2

Fig. 12. Changes in the indices weighted average values in relation to the illumination (mL), moisture (mF), acidity (mR) and soil nitrogen (mN) factors in the vegetation cover of EP 1 and 2

Рассчитанные индексы демонстрируют довольно высокий уровень сходимости с инструментальными замерами экологических факторов, выполненных на пробных площадях, размещенных вдоль экологических профилей. Статистически достоверная связь характерна для следующих пар значений: а) индекса увлажнения и уровня стояния болотных вод ($r=0,822$); б) индекса кислотности и рН болотных вод ($r=0,947$) (рис. 13, см. табл. 2).

На основе фитоиндикационных данных составлены карты экологических режимов модельных болот (рис. 14–16). Для этих целей в каждом контуре растительности выполнены геоботанические описания с использованием стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ГИС и автоматическим присвоением рассчитанных значений фитометрических индексов.

Уровень стояния болотных вод в пределах ВБК № 2 (Малый Колпицкий Мох), № 3 (Большой Колпицкий Мох) находится в близком диапазоне значений: центральная часть в пределах 7–7,4 баллов. Наиболее обводненной частью этих болот является периферия, где доминируют краевой мочажинный комплекс, топи и выпавший лес (ВБК № 2) (см. рис. 14).

Синфитоиндикационная оценка режима кислотности и богатства азотом субстрата показывает, что исследованные болота различаются по

трофности и кислотности. Наиболее богатые местообитания Демьяновского ВБК ($mN=3,55–5,5$, $mR=3,27–5,0$). Менее богатые условия ($mN=1,29–3,27$, $mR=1,74–4,83$) характерны для Малого Колпицкого Мха. Наиболее олиготрофные условия ($mN=0,9–2,24$, $mR=1,45–2,65$) выявлены для Большого Колпицкого Мха (см. рис. 15, 16).

Таким образом, результаты первого этапа исследований показали, что применение стандартных экошкал Х. Элленберга в условиях нашего региона вполне адекватно отражает экологические режимы природных экосистем. Это подтверждается как сравнением с инструментальными замерами экологических характеристик на пробных площадях, так и сопоставлением картографических продуктов, отражающих пространственные вариации параметров экологических режимов. В связи с этим применение фитоиндикационных показателей для изучения экологических режимов крупных природных комплексов без дополнительных инструментальных измерений вполне обоснованно.

Более детально остановимся на экологической характеристике природного комплекса «Беловежская пуца» (табл. 4, 5; рис. 17–22).

Синфитоиндикационная оценка (в баллах) режима увлажнения (F) по типам местообитаний национального парка «Беловежская пуца» находится в пределах от 2,72 (мезоксерофитные условия) до 9,71 (ультрагигрофиты).

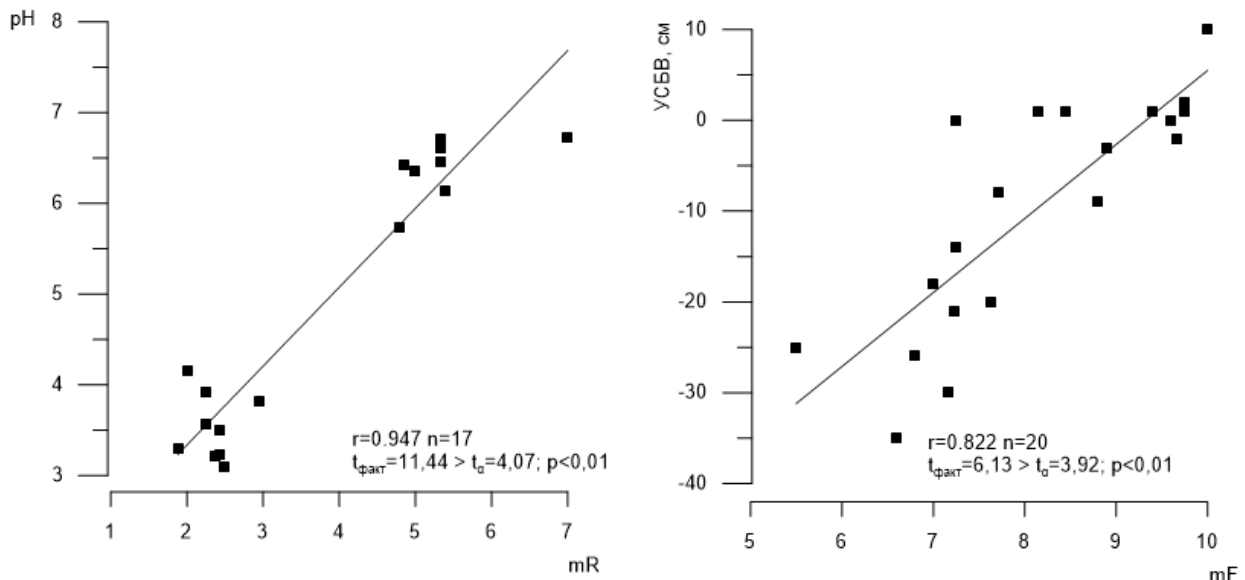


Рис. 13. Характеристика связи инструментальных измерений и данных фитоиндикационной оценки режима увлажнения (А) и кислотности (Б) местообитаний для исследованной выборки (ВБК национального парка «Смоленское Поозерье»)

Fig. 13. Characteristics of the relationship between instrumental measurements and phytointerpretive assessment of the moisture (A) and acidity (B) for the studied sample habitats (Smolenskoye Poozerye National Park wetland complex)

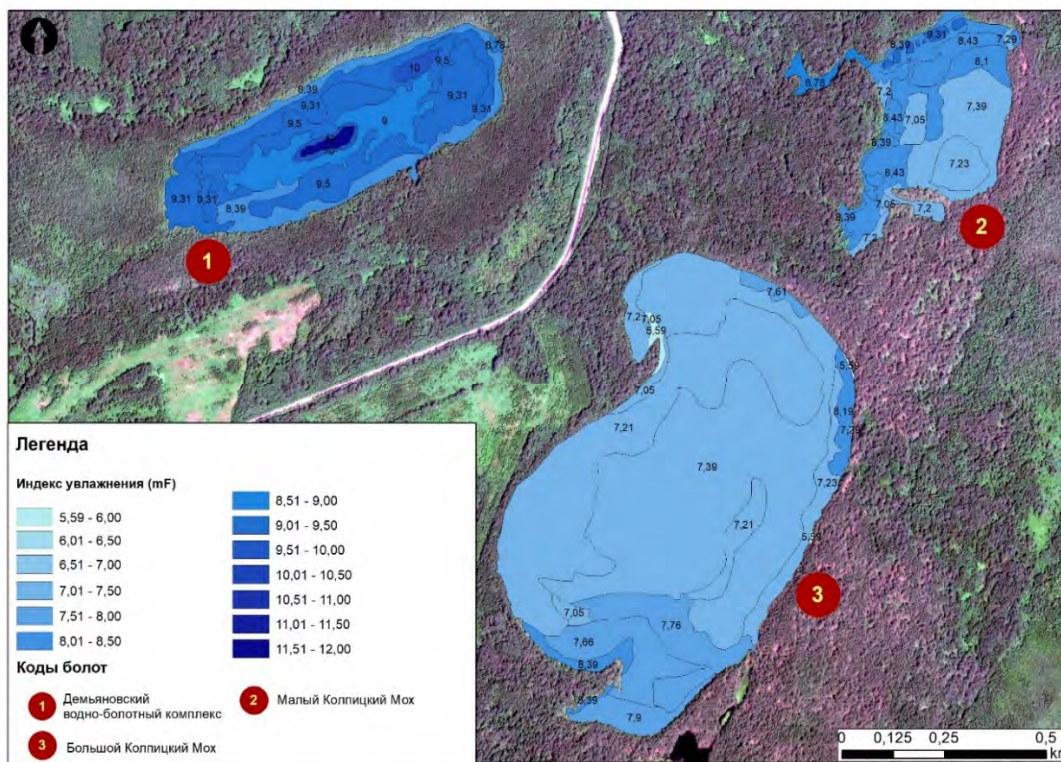


Рис. 14. Синфитоиндикационная оценка режима увлажнения ВБК национального парка «Смоленское Поозерье» (2013 г.)

Fig. 14. Synphytoindicative assessment of the moisture of the Smolenskoye Poozerye National Park wetland complex (2013)

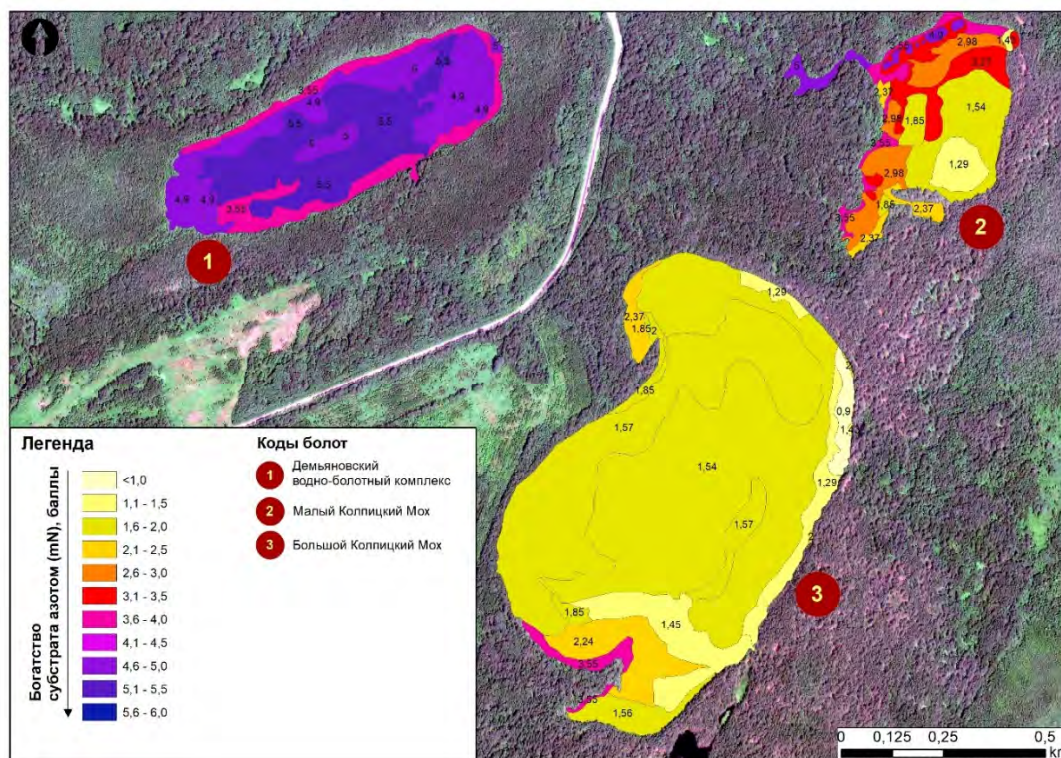


Рис. 15. Синфитоиндикационная оценка богатства субстрата азотом в местообитаниях ВБК национального парка «Смоленское Поозерье» (2013 г.)

Fig. 15. Synphytoindicative assessment of the nitrogen of the Smolenskoye Poozerye National Park wetland complex (2013)

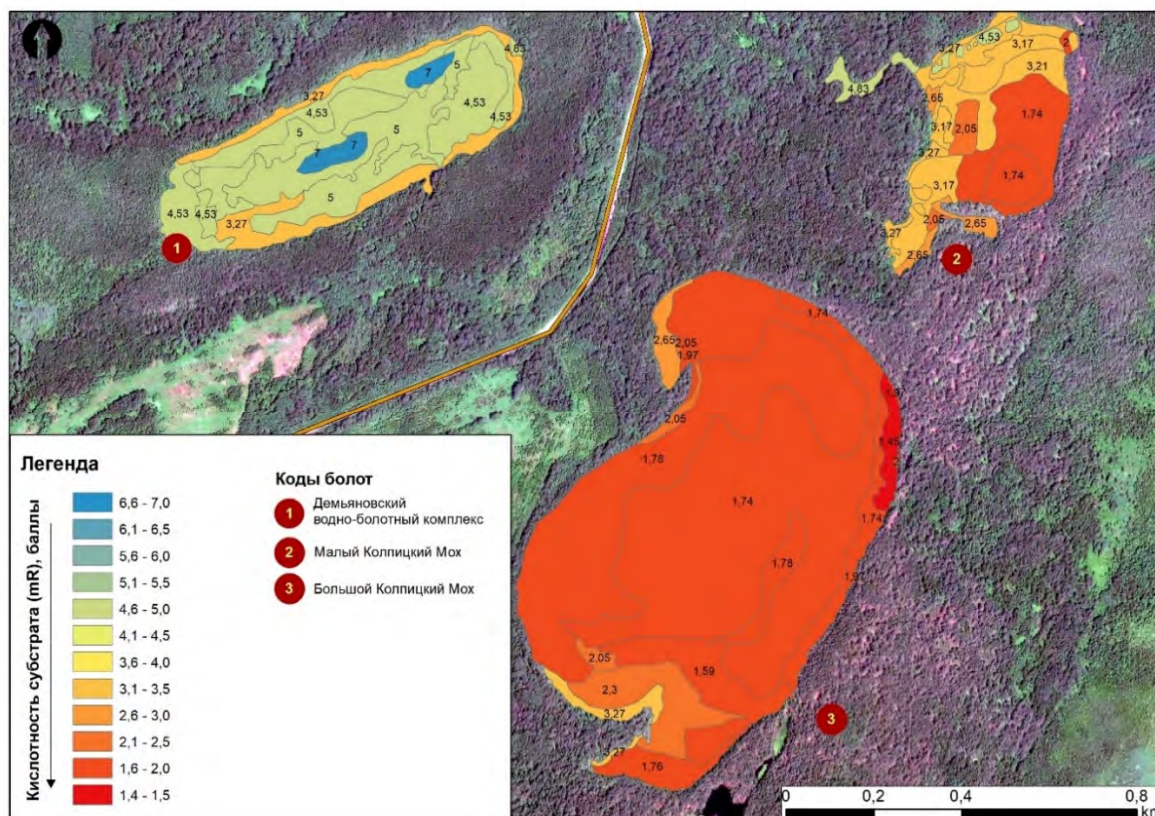


Рис. 16. Синфитоиндикационная оценка режима кислотности субстрата ВБК национального парка «Смоленское Поозерье» (2013)

Fig. 16. Synphytoindicative assessment of the acidity of the Smolenskoye Poozerye National Park wetland complex (2013)

Таблица 4. Медианные значения фитоиндикационных индексов, рассчитанные для картируемых единиц геоботанической карты национального парка «Беловежская пушча»

Table 4. Median values of phytoindicative indices calculated for mapped units of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" geobotanical map

№ легенды	Наименование	Фитоиндикационные индексы			
		mL	mF	mR	mN
I. ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ					
ХВОЙНЫЕ, ШИРОКОЛИСТВЕННО-ХВОЙНЫЕ ЛЕСА И ВТОРИЧНЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА НА ИХ МЕСТЕ					
1	Сосновые лишайниково-зеленомошные ass. <i>Cladonio rangiferinae-Pinetum sylvestris</i>	6,79	3,32	2,49	1,87
2	Сосновые кустарничково-зеленомошные ass. <i>Peucedano oreoselini-Pinetum sylvestris</i>	6,15	4,02	3,11	2,87
2a	Сосново-березовые с елью, дубом кустарничково-зеленомошные с лугово-лесными видами ass. <i>Peucedano oreoselini-Pinetum sylvestris</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	6,45	4,11	3,16	2,62
2b	Сосновые и березово-сосновые молодняки с разреженным травяно-кустарничковым покровом и пятнами зеленых мхов ass. <i>Peucedano oreoselini-Pinetum sylvestris</i> (var. <i>inops</i>)	6,93	4,04	3,09	2,74
3	Дубово-елово-сосновые кустарничково-зеленомошные с бореальными травами ass. <i>Quercu roboris-Pinetum sylvestris</i>	5,72	4,31	3,72	3,86
3a	Березовые с осинкой, сосной, елью, дубом злаково-орляковые с пятнами зеленых мхов ass. <i>Quercu roboris-Pinetum sylvestris</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	5,85	4,43	3,64	3,44

№ легенды	Наименование	Фитоиндикационные индексы			
		mL	mF	mR	mN
3b	Дубово-елово-сосновые злаково-орляковые молодняки ass. <i>Quercus roboris-Pinetum sylvestris</i> (var. inops)	5,95	4,37	3,70	3,41
4	Сосновые и елово-сосновые чернично-молиниевые-зеленомошные, в сочетании с кустарничково-молиниевыми-сфагново-долгомошными ass. <i>Molinio caerulea-Pinetum sylvestris</i>	6,02	4,77	2,86	2,96
4a	Березовые с сосной сфагново-долгомошные с болотными кустарничками, заболачивающиеся subass. <i>Molinio caerulea-Pinetum sylvestris ledetosum palustris</i>	6,49	5,84	2,04	2,62
4b	Березовые с сосной, елью молиниевые-долгомошные ass. <i>Molinio caerulea-Pinetum sylvestris</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	6,23	5,06	2,82	2,86
5	Сосновые кустарничково-сфагновые ass. <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris</i>	6,97	7,29	1,61	2,15
5a	Сосновые кустарничково-сфагново-зеленомошные на торфах верхового типа осушенные ass. <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris Vaccinium myrtillus</i> var	6,64	6,61	1,88	2,51
6	Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые ass. <i>Sphagno-Pinetum sylvestris</i>	7,35	7,50	1,64	1,93
7	Сосновые и пушистоберезово-сосновые с елью и ольхой черной осоково-травяно-гипново-сфагновые com. <i>Pinus sylvestris-Carex appropinquata-Sphagnum centrale</i>	6,40	7,53	4,38	4,40
8	Еловые и широколиственно-еловые кисличные с бореальным мелкотравьем и зелеными мхами ass. <i>Quercus roboris-Piceetum abietis</i>	5,12	4,85	4,36	5,09
8a	Широколиственно-елово-сосновые кисличные с бореальным мелкотравьем и зелеными мхами ass. <i>Quercus roboris-Piceetum abietis</i> (fac. <i>Pinus sylvestris</i>)	5,63	4,85	4,36	5,09
8b	Елово-березовые сложные (с дубом, липой, кленом, грабом) кисличные ass. <i>Quercus roboris-Piceetum abietis</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	5,52	4,75	4,27	4,99
8c	Елово-осиновые сложные (с дубом, липой, кленом, грабом) кисличные ass. <i>Quercus roboris-Piceetum abietis</i> (fac. <i>Populus tremula</i>)	5,38	4,85	4,36	5,09
8d	Еловые с дубом молодняки злаково-орляково-кисличные ass. <i>Quercus roboris-Piceetum abietis</i> (var. inops)	6,14	4,37	3,92	4,58
9	Еловые чернично-сфагново-долгомошные и приручейно-травяные ass. <i>Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis</i>	5,48	4,70	2,98	3,16
9a	Березовые и елово-березовые чернично-сфагново-долгомошные ass. <i>Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	5,77	4,84	2,85	2,98
9b	Черноольхово-еловые приручейно-травяные ass. <i>Carici remotae-Piceetum abietis</i>	5,38	6,69	4,51	5,07
9c	Елово-сосновые с ольхой черной приручейно-травяные ass. <i>Carici remotae-Piceetum abietis</i> (fac. <i>Pinus sylvestris</i>)	6,19	6,36	4,28	4,82
УМЕРЕННО ВЛАЖНЫЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА И ВТОРИЧНЫЕ МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА НА ИХ МЕСТЕ					
10	Смешанные липово-дубово-грабовые кисличные ass. <i>Tilio cordatae-Carpinetum betuli</i>	4,28	5,26	5,74	5,51
10a	Дубравы сложные (с липой, грабом, кленом, елью) кисличные ass. <i>Tilio cordatae-Carpinetum betuli</i> (fac. <i>Quercus robur</i>)	4,83	5,19	5,63	5,42
10b	Сосновые сложные (с дубом, липой, кленом, грабом) кисличные ass. <i>Tilio cordatae-Carpinetum betuli</i> (fac. <i>Pinus sylvestris</i>)	4,86	5,04	4,60	5,27
10c	Березовые сложные (с осинкой, дубом, липой, кленом, грабом) кисличные ass. <i>Tilio cordatae-Carpinetum betuli</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	5,01	5,14	4,57	5,02
10d	Осиновые сложные (с дубом, липой, кленом, грабом) кисличные ass. <i>Tilio cordatae-Carpinetum betuli</i> (fac. <i>Populus tremula</i>)	4,98	5,22	5,63	5,40
АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ПРИРУСЛОВЫЕ ЛЕСА					
11	Черноольховые и ясенево-черноольховые сложные с развитым бореально-неморальным травостоем ass. <i>Stellario nemorum-Alnetum glutinosae</i>	4,60	6,95	6,02	5,72

№ легенды	Наименование	Фитоиндикационные индексы			
		mL	mF	mR	mN
11a	Ясенево-черноольхово-дубовые травяные, сложные ass. <i>Stellario nemorum-Alnetum glutinosae</i> (fac. <i>Quercus robur</i>)	4,73	6,74	6,00	5,66
12	Черноольховые с елью, ясенем сложные, высокотравные, заболоченные ass. <i>Circaeo alpinae-Alnetum glutinosae</i>	4,91	7,24	6,12	6,25
12a	Черноольхово-еловые высокотравные, заболоченные ass. <i>Circaeo alpinae-Alnetum glutinosae</i> (fac. <i>Picea abies</i>)	4,67	7,16	6,10	6,22
12b	Березовые и черноольхово-березовые сложные, высокотравные, заболоченные ass. <i>Circaeo alpinae-Alnetum glutinosae</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	4,91	7,24	6,12	6,25
12c	Березовые и черноольхово-березовые крапивные молодняки ass. <i>Circaeo alpinae-Alnetum glutinosae</i> (var. inops)	5,40	7,46	6,02	5,98
ЛИСТВЕННЫЕ БОЛОТНЫЕ ЛЕСА					
13	Черноольховые кочедыжниковые ass. <i>Carici elongatae-Alnetum glutinosae</i>	5,39	8,38	6,05	5,85
13a	Черноольхово-березовые кочедыжниковые ass. <i>Carici elongatae-Alnetum glutinosae</i> (fac. <i>Betula pendula</i>)	5,33	8,65	5,95	5,63
14	Черноольховые гигрофильно-травяно-осоковые ass. <i>Carici acutiformis-Alnetum glutinosae</i>	6,00	8,52	5,87	4,97
14a	Березовые гигрофильно-травяно-осоковые ass. <i>Carici acutiformis-Alnetum glutinosae</i> (fac. <i>Betula pubescens</i>)	5,94	8,84	5,85	4,69
15	Черноольховые болотно-папоротниковые ass. <i>Thelypterido palustris-Alnetum glutinosae</i>	6,85	8,10	4,66	4,25
16	Березовые болотно-папоротниковые с разреженным сфагновым покровом ass. <i>Thelypterido palustris-Betuletum pubescentis</i>	6,60	8,04	4,79	4,31
II. КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ					
17	Ивняки пойменные ass. <i>Salicetum fragilis</i>	6,23	8,55	5,85	5,55
18	Ивовые заросли на эвтрофных болотах, производные на месте черноольховых лесов ass. <i>Salicetum pentandro-auritae</i>	7,50	8,55	4,85	3,55
19	Ивовые заросли на мезотрофных болотах ass. <i>Salicetum auritae</i>	7,30	8,20	4,35	3,67
20	Заросли ивы розмаринолистной и березы низкой с осоковым травостоем ass. <i>Betulo-Salicetum repentis</i>	7,30	8,20	5,00	3,70
III. БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ					
ТРАВЯНО-ОСОКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НИЗИННЫХ БОЛОТ И ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВОДОЕМОВ					
21	Комплекс гигрофитных и гидрофитных сообществ монодоминантных высоких трав PHRAGMITION AUSTRALIS (ass. <i>Equisetum fluviatilis</i> + ass. <i>Phragmitetum australis</i> + ass. <i>Typhetum latifoliae</i>) локально в сочетании с ass. <i>Thelypterido palustris-Phragmitetum australis</i> , <i>Caricetum gracilis</i>	7,25	9,15	5,85	5,04
22	Комплекс гигрофитных злаковых сообществ: ass. <i>Phragmitetum australis</i> + ass. <i>Phalaridetum arundinaceae</i>	7,25	8,95	5,85	5,04
22a	Гигрофитные сообщества с преобладанием осоки ложносытевой ass. <i>Cicuto virosae-Caricetum pseudocyperii</i>	7,82	9,71	5,27	4,35
23	Гигрофитные сообщества с преобладанием осоки острой ass. <i>Caricetum gracilis</i>	7,69	9,82	5,60	4,79
24	Гигрофитные сообщества с преобладанием осоки высокой ass. <i>Caricetum elatae</i>	7,52	9,61	5,48	4,52
25	Гигрофитные и гидрофитные сообщества с преобладанием осоки вздутой ass. <i>Equiseto fluviatilis-Caricetum rostratae</i>	7,63	8,89	4,25	3,36
26	Гигрофитные сообщества с преобладанием осоки волосистоплодной ass. <i>Peucedano palustris-Caricetum lasiocarpae</i>	7,25	8,40	4,58	3,41
27	Гигрофитные сообщества с преобладанием осоки сближенной ass. <i>Caricetum appropinquatae</i>	7,50	8,70	5,92	3,71

№ легенды	Наименование	Фитоиндикационные индексы			
		mL	mF	mR	mN
28	Гигрофитные сообщества с преобладанием осоки дернистой ass. <i>Comaro palustris-Caricetum cespitosae</i>	7,15	8,45	5,15	3,78
29	Комплекс гигрофитных крупноосоковых сообществ MAGNO-CARICION ELATAE (ass. <i>Equiseto fluviatilis-Caricetum rostratae</i> + ass. <i>Peucedano palustris-Caricetum lasiocarpae</i> + ass. <i>Caricetum elatae</i> + ass. <i>Caricetum diandrae</i>)	7,47	8,97	4,77	3,76
30	Комплекс гигрофитных и гидрофитных сообществ злаков и корневищных осок MAGNO-CARICION GRACILIS (доминируют: ass. <i>Caricetum acutiformis</i> + ass. <i>Caricetum gracilis</i> + ass. <i>Caricetum vesicariae</i>), локально в сочетании с ass. <i>Scirpetum sylvatici</i>	7,40	8,72	5,62	5,20
31	Гигромезофитные сообщества с преобладанием осоки черной с фрагментами деградированных сенокосов ass. <i>Caricetum nigrae</i> , локально ass. <i>Deschampsio-Festucetum rubrae</i>	7,40	8,00	3,92	4,02
ОСОКОВО-МОХОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НИЗИННЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ БОЛОТ					
32	Комплекс растительности: осоково-пушицево-травяно-сфагновые сообщества SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS (ass. <i>Sphagno recurvi-Caricetum rostratae</i> + ass. <i>Sphagno recurvi-Caricetum lasiocarpae</i>)	7,20	8,10	3,62	3,55
IV. ЛУГОВАЯ И ПУСТОШНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ					
33	Псаммофитные травяные сообщества с булавоносцем седым ass. <i>Corniculario aculeatae-Corynephorum canescentis</i>	7,81	2,72	3,88	1,95
34	Психромезофитные сообщества с белоусом торчащим ass. <i>Festuco capillatae-Nardetum strictae</i>	7,33	5,11	3,29	3,29
35	Ксеромезофитные луговые сообщества с мятликом узколистным ass. <i>Poëtum angustifoliae</i>	7,48	3,88	5,58	3,40
36	Комплекс мезофитных луговых сообществ: ass. <i>Poo-Festucetum rubrae</i> + ass. <i>Arrhenatheretum elatioris</i> + ass. <i>Festucetum pratensis</i> + com. <i>Dactylis glomerata</i> + com. <i>Phleum pratense</i>	7,47	4,98	6,19	5,17
37	Гигромезофитные сообщества с луговиком дернистым сообщество <i>Deschampsia caespitosae</i>	6,55	7,07	6,21	5,0
38	Гигромезофитные сообщества с бухарником шерстистым ass. <i>Holcetum lanati</i>	7,05	5,69	6,45	5,56
39	Гигромезофитные сообщества с ситником развесистым ass. <i>Epilobio-Juncetum effusi</i>	7,17	7,23	3,45	4,23
40	Гигромезофитные сообщества с лабазником вязолистным ass. <i>Lysimachio vulgaris-Filipenduletum ulmariae</i>	6,92	7,76	5,97	4,72
41	Гигромезофитные сообщества с лисохвостом луговым ass. <i>Poo palustris-Alopecuretum pratensis</i>	6,51	6,19	6,09	6,27
42	Гигромезофитные сообщества с двукисточником тростниковидным, лисохвостом луговым и кострецом безостым ass. <i>Alopecuro pratensis-Phalaroidetum</i> + ass. <i>Bromopsi-Phalaroidetum arundinaceae</i>	6,92	7,30	6,79	6,79
43	Комплекс мезогигрофитных травяных сообществ: ass. <i>Caricetum gracilis</i> + <i>Caricetum acutiformis</i> + ass. <i>Caricetum ripariae</i> + ass. <i>Phalaridetum arundinaceae</i> + ass. <i>Scirpetum sylvatici</i>	7,23	7,90	4,11	4,26
V. АНТРОПОГЕННАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ					
РУДЕРАЛЬНАЯ И СЕГЕТАЛЬНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ					
44	Сообщества корневищнозлаковых стадий восстановительных сукцессий с пыреем ползучим и кострецом безостым				
44a	ass. <i>Convolvulo arvensis-Elytrigietum repentis</i>	7,66	4,12	3,23	2,87
44b	ass. <i>Convolvulo arvensis-Brometum inermis</i>	7,78	4,37	3,42	3,04
45	Многолетние и двулетние высокотравные нитрофильные сообщества влажных местообитаний с купырем лесным, крапивой двудомной, посконником коноплевидным, торилисом японским: ass. <i>Symphyto officinalis-Anthriscetum sylvestris</i> , com <i>Urtica dioica</i> , <i>Calystegio-Eupatorietum</i> , <i>Torilidetum japonicae</i>	7,60	7,04	5,79	5,31

№ легенды	Наименование	Фитоиндикационные индексы			
		mL	mF	mR	mN
46	Двулетние и многолетние высокотравные ксеромезофитные и мезофитные сообщества с донниками белым и желтым, пижмой обыкновенной, полынью обыкновенной, золотарником канадским, бодяком полевым ass. <i>Melilotetum albo-officinale</i> , ass. <i>Tanacetum vulgare-Artemisietum vulgare</i> , com. <i>Solidago canadensis</i> , com. <i>Cirsium arvense</i>	7,69	4,81	4,99	5,07
47	Однолетние сеgetальные сообщества пашенных посевов с метлицей обыкновенной, васильком синим, сушеницей топяной, трехреберником обыкновенным, гречишкой выюнквой, марью белой ass. <i>Centaureo-Aperetum spicae-venti</i> , ass. <i>Gnaphalio uliginosae-Matricarietum perforatae</i> , ass. <i>Fallopia convolvulus-Chenopodietum albi</i>	7,99	4,77	4,69	4,88
РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ВЫРУБОК					
48	Травяные сообщества лесных вырубок EPILOBIETEA ANGUSTIFOLII (<i>Pteridietum aquilini</i> , <i>Rubus idaei-Calamagrostietum arundinaceae</i> , <i>Senecioni-Epilobietum angustifolii</i>)	6,72	4,31	3,72	3,86

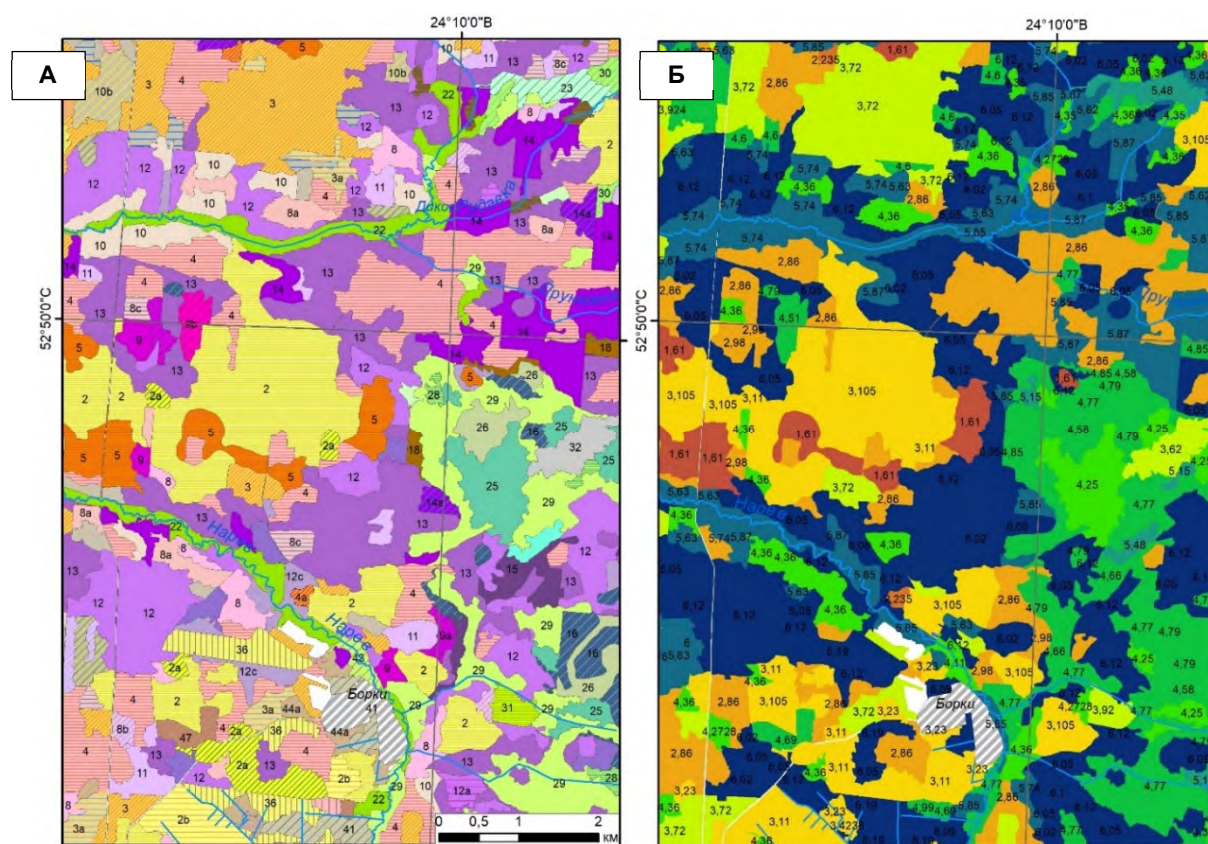


Рис. 17. Фрагменты карт растительности (А) и фитоиндикационной оценки режима кислотности (Б) местообитаний национального парка «Беловежская пушча»

Fig. 17. Fragments of the vegetation map (A) and the acidity phytoindication assessment map (B) of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" habitats

Наиболее сухие местообитания ($mF < 4,5$) сконцентрированы по периферии ядра национального парка: в северном секторе ООПТ преобладают местообитания с бедными песчаными почвами недостаточного увлажнения; в южном – на значительной площади проведено масштабное осушение болот и заболоченных земель в прошлом (см. рис. 19). Самые увлажненные территории размещаются вдоль водотоков в ядре национального

парка, а также в его восточном секторе, где размещается крупный водно-болотный комплекс «Дикое». В целом, средневзвешенное значение для фитоиндикационного индекса режима увлажнения (mF) составляет $5,78 \pm 0,02$ баллов, что является индикатором преобладания среднеувлажненных местообитаний (см. табл. 4, 5).

Значения индекса кислотности (mR) для типов местообитаний ООПТ находятся в пределах

1,61 (крайние (pH=2–3) ацидофильные условия) до 6,79 (умеренный ацидофильный (pH=5–6) режим). Средневзвешенное значение mR для местообитаний национального парка составляет $4,49 \pm 0,02$ (см. табл. 4,5), что является индикатором преобладания умеренно ацидофильных местообитаний (pH=4–5). Составленная фитоиндикационная карта показывает их доминирование

(см. рис. 20) в ядре национального парка. По периферии ООПТ преобладают более ацидофильные условия (pH=3–4). Небольшими фрагментами встречаются местообитания с крайними ацидофильными условиями (pH=2–3), приуроченные, как правило, к лесным верховым болотам.

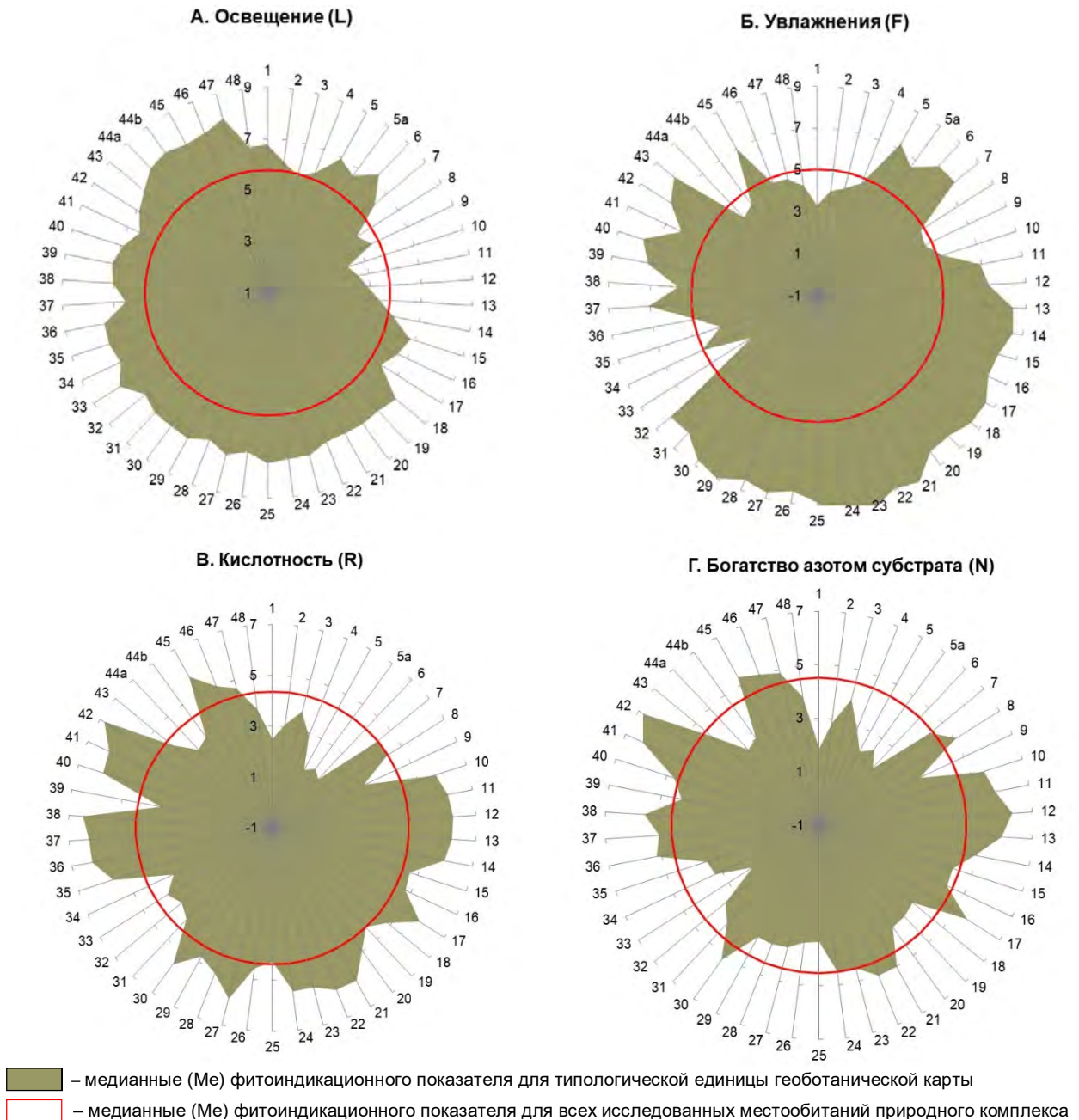


Рис. 18. Синэкологические амплитуды местообитаний растительных сообществ национального парка «Беловежская пушча» по режиму освещенности (А), увлажнения (Б), кислотности субстрата (R), богатства азотом (Т), в баллах по шкалам Х.Элленберга (№ растительных сообществ см. в табл. 4)

Fig. 18. Plant community's synecological amplitudes of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" habitats in terms of lighting (A), moisture (B), acidity (R), nitrogen (T), in points according to H. Ellenberg scales (see the table 4 for the number of plant communities)

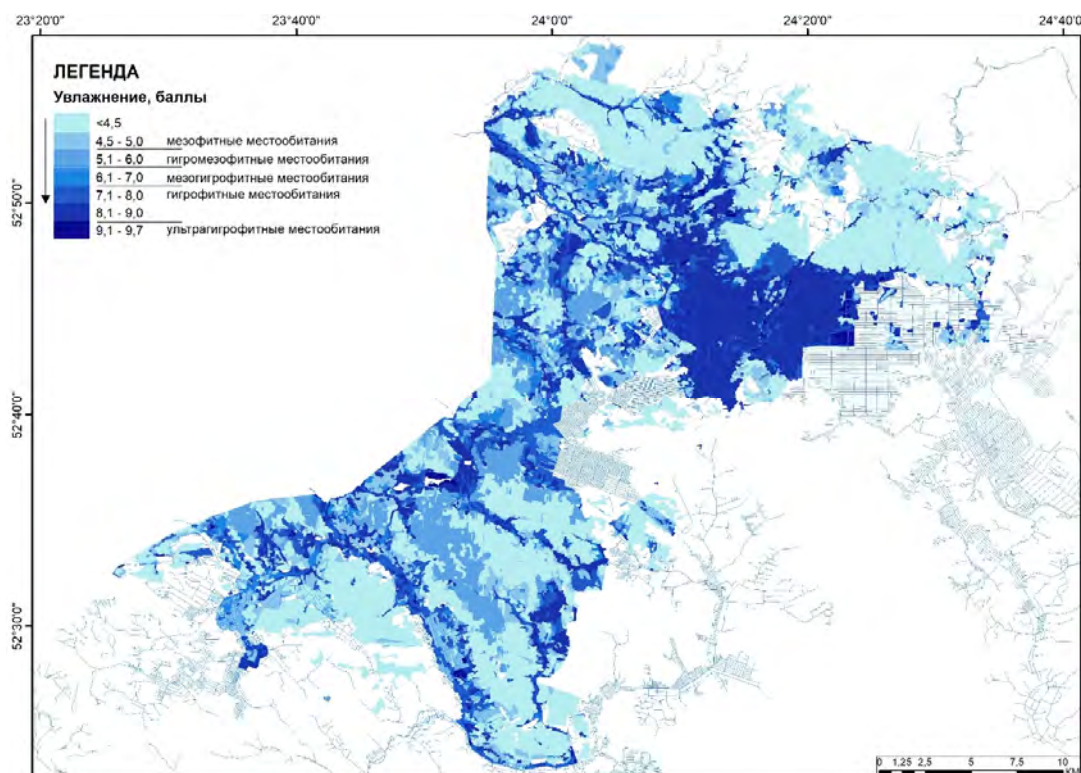


Рис. 19. Фитоиндикационная оценка режима влажности (F) местообитаний национального парка «Беловежская пуца», в баллах по шкалам Х. Элленберга

Fig. 19. Phytoindicative humidity (F) assessment of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" habitats, in points according to the scales of H. Ellenberg

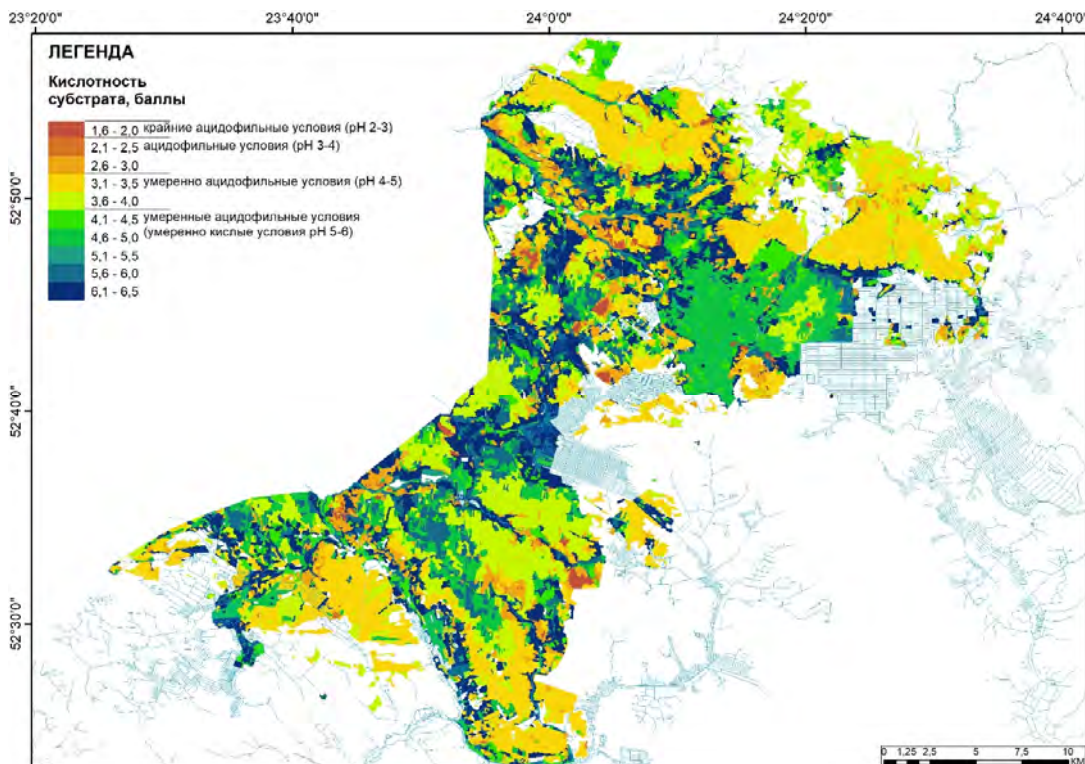


Рис. 20. Фитоиндикационная оценка кислотности субстрата (R) местообитаний национального парка «Беловежская пуца», в баллах по шкалам Х. Элленберга

Fig. 20. Phytoindicative acidity (R) assessment of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" habitats, in points according to the scales of H. Ellenberg

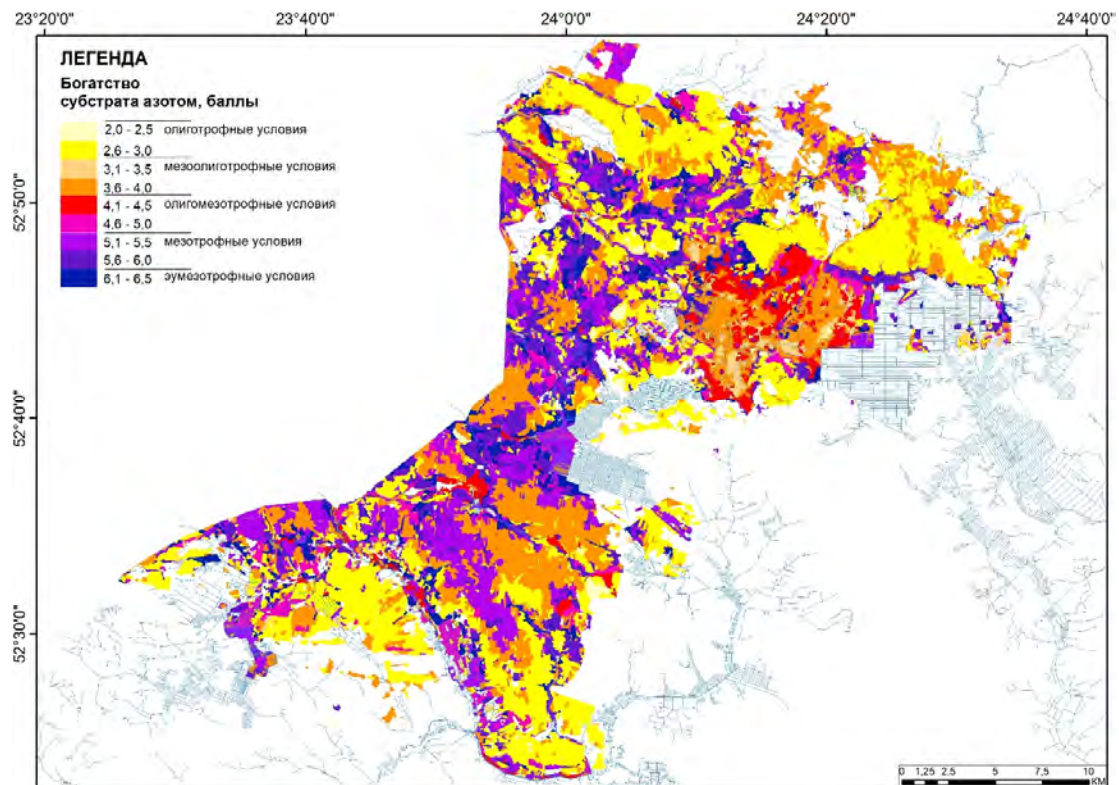


Рис. 21. Фитоиндикационная оценка богатств почв азотом (N) местообитаний национального парка «Беловежская пуца», в баллах по шкалам Х. Элленберга

Fig. 21. Phytoindicative nitrogen (N) assessment of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" habitats, in points according to the scales of H. Ellenberg

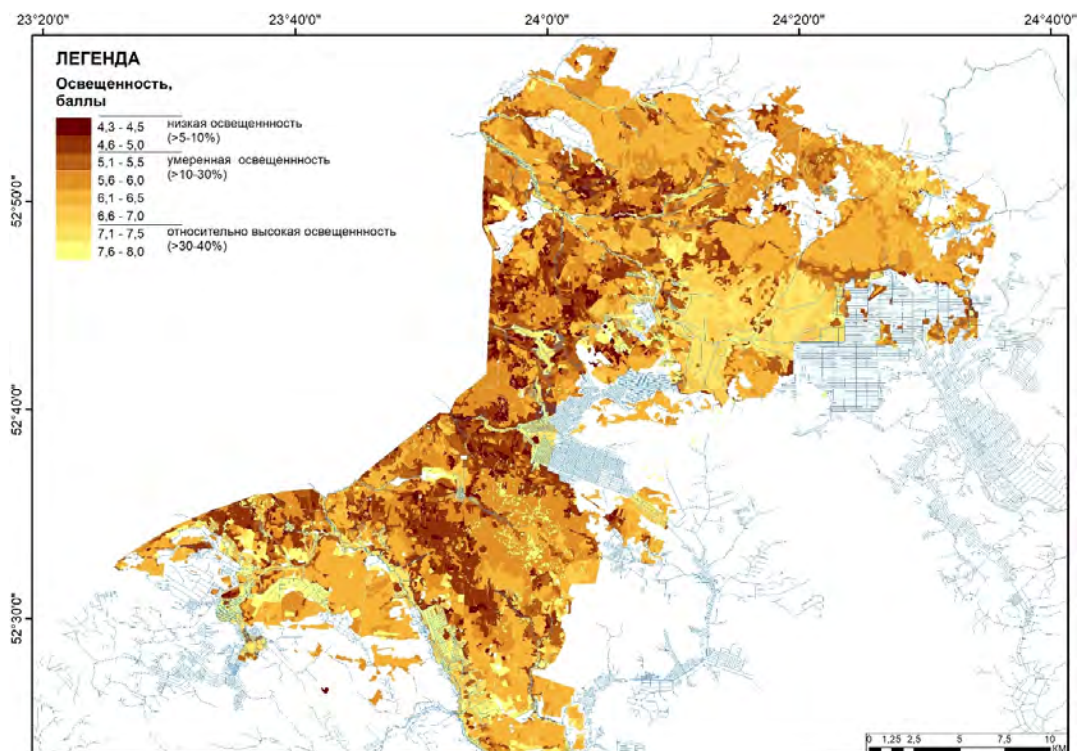


Рис. 22. Фитоиндикационная оценка режима освещенности (L) местообитаний национального парка «Беловежская пуца», в баллах по шкалам Х. Элленберга

Fig. 22. Phytoindicative lighting (L) assessment of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" habitats, in points according to the scales of H. Ellenberg

Таблица 5. Статистические параметры синфитоиндикационных оценок экологических режимов местообитаний национального парка «Беловежская пушча» (n=5786)

Table 5. Synphytoindicative assessments statistical parameters of the National Park "Belovezhskaya Pushcha" ecological regimes habitats (n=5786)

Статистические показатели	Фитоиндикационные индексы			
	освещенности	увлажнения	кислотности субстрата	богатства азотом
M	5,90	5,78	4,49	4,43
±m	0,01	0,02	0,02	0,02
Me	5,77	5,04	4,36	4,52
σ	0,92	1,66	1,23	1,19
min	4,28	2,72	1,61	1,87
max	7,99	9,71	6,79	6,79

Фитоиндикационные показатели, характеризующие степень обеспеченности субстрата азотом (mN) местообитаний национального парка «Беловежская пушча», варьируют в широком диапазоне: от 1,87 (олиготрофные условия) до 6,79 (богатые субстраты), при средневзвешенном значении $4,43 \pm 0,02$ (олигомезотрофные местообитания) (см. табл. 4, 5). В центральной части ООПТ представлена сложная мозаика биотопов с преобладанием мезоолиго- (mN=3,1–4,0) и мезотрофных (mN=5,1–6,0) условий. Наиболее богатые местообитания (mN=6,22–6,79) размещены вдоль водотоков (см. рис. 21) по «аккумулятивной» окраине болотных массивов. По периферии национального парка основной фон образуют местообитания с олиготрофными условиями (mN=2,0–3,0).

Оценка светового режима (см. табл. 4, 5) свидетельствует о преобладании на территории национального парка местообитаний с недостаточно хорошими условиями освещения (~10–30% относительной освещенности): среднее значение $mL=5,90 \pm 0,01$ (пределы 4,28–7,99). Наиболее освещенные местообитания (mL=7,1–8,0) размещаются в восточной (редколесные и открытые осоковые низинные болота), в южной (сельскохозяйственные земли, сенокосы, пойменные луга и болота) частях природного комплекса. В центральной части в пределах лесной территории отмечаются очаги улучшенной освещенности, что связано с гибелью лесов в последние годы (2015–2020 гг.) (см. рис. 22).

Фитоиндикационное картографирование и анализ тематических карт имеют большие возможности для интерпретации результатов мониторинга биоразнообразия и экологии природных комплексов. Рассмотрим это на примере модельных территорий.

1. *Сравнительная оценка экологических режимов природных комплексов.* Сравнительная оценка значений фитометрических индексов, характеризующих экологический режим двух модельных ООПТ (Березинский заповедник и наци-

ональный парк «Беловежская пушча»), показывает, что эти природные комплексы существенно отличаются по базовым параметрам окружающей среды (рис. 23). Так, для Березинского биосферного заповедника в сравнении с национальным парком «Беловежская пушча» характерны более освещенные ($mL_{ББЗ}=6,53 > mL_{БП}=5,90$) и увлажненные ($mF_{ББЗ}=6,74 > mF_{БП}=5,78$) местообитания.

По степени кислотности и обеспеченности азотом субстратов местообитания НП «Беловежская пушча» индицируются как более плодородные: $mR_{ББЗ}=3,72 < mR_{БП}=4,49$; менее кислые $mN_{ББЗ}=3,37 < mN_{БП}=4,43$. Таким образом, фитоиндикационная оценка может стать объективной основой для сравнения экологических режимов крупных природно-территориальных комплексов.

2. *Фитоиндикация динамики экологических условий.* С использованием стандартных экологических шкал проведены исследования изменения гидрологических условий для территории республиканского заказника «Жада» (см. рис. 1), где в 2013 году были выполнены мероприятия по вторичному обводнению ВБК.

Установлено (табл. 6), что усредненное значение индекса увлажнения (mF) в 2011 г. (до реабилитации) составляло (n=21) – $7,32 \pm 0,13$ балла (пределы 6,8–8,5), в т.ч. в пределах проектного участка, где в последующем были проведены мероприятия по вторичному обводнению $mF=6,90 \pm 0,14$.

В первый год после обводнения (2013 г.) mF для экосистем РЗ «Жада» составил в среднем (n=286) $7,36 \pm 0,02$, в т.ч. в пределах проектного участка $6,98 \pm 0,04$. Спустя 5 лет после вторичного обводнения в 2017 г. mF для модельной территории составил в среднем (n=286) $7,39 \pm 0,02$, в т.ч. в пределах повторно обводненного участка ВБК $7,19 \pm 0,02$ (рис. 24, см. табл. 6). Таким образом, анализ статистических показателей и пространственной вариации значений mF свидетельствует об увеличении увлажнения местообитаний после восстановления гидрологического режима ООПТ.

3. Оценка степени трансформации экологических условий. Сопоставление фитоиндикационных значений, рассчитанных на основе геоботанических описаний модельной территории РЗ «Жада», с аналогичными значениями для фоновых естественных сообществ [48] дает возможность оценить степень трансформации гидрологического режима модельной территории.

Результаты фитоиндикационной оценки показывают, что практически на всей территории РЗ «Жада» (за исключением ложа спущенного озера)

экосистемы испытывают воздействие осушительных систем, в т.ч. очень сильное на площади 57,9 га (1,2% площади РЗ), сильное – 485,7 га (10,3%), умеренное – 1606,6 га (33,8%), слабое – 1805,4 (38,0%) (табл. 7). Процессы увеличения заболачивания наблюдаются только в котловине спущенного озера, аккумулирующей стоки с прилегающей территории.

В целом в пределах проектной территории наиболее увлажненные (mF 8,3–8,6) участки размещены в ложе спущенного озера Жада.

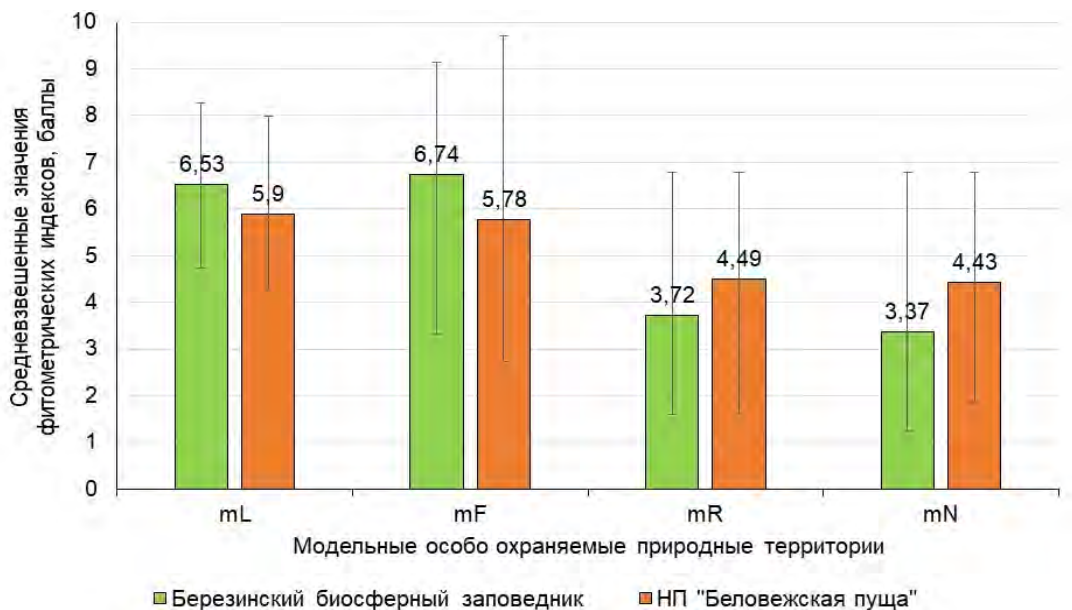


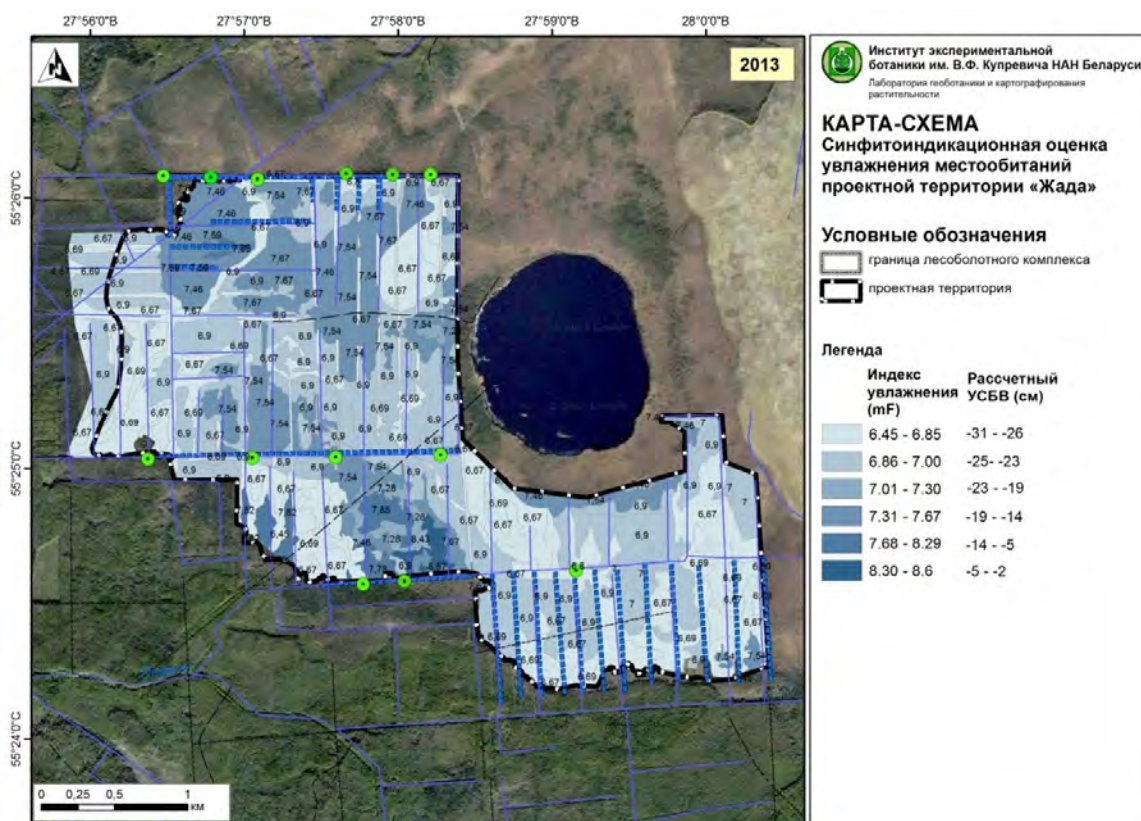
Рис. 23. Сравнительная оценка базовых параметров окружающей среды модельных ООПТ, рассчитанная на основе экологических шкал Х. Эллэнберга

Fig. 23. Comparative assessment of the environment basic parameters in the model protected areas, calculated on the H. Ellenberg ecological scales basis

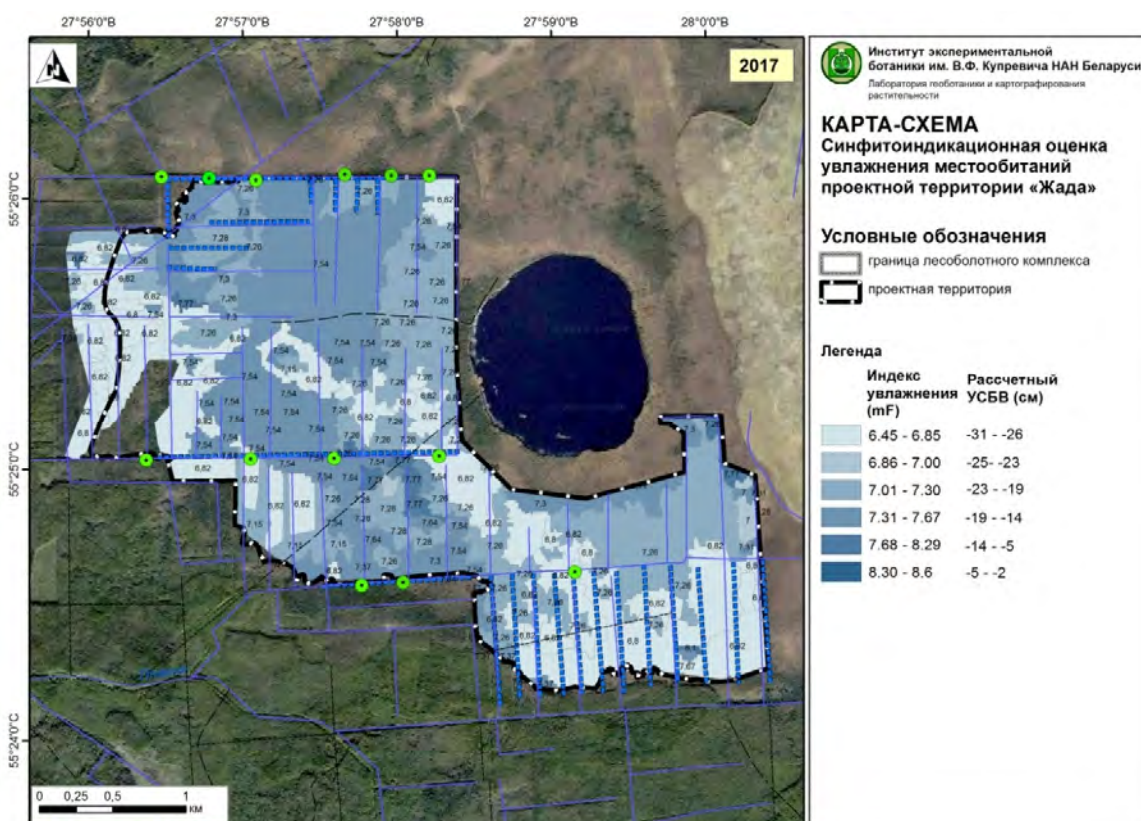
Таблица 6. Статистические показатели фитоиндикационных индексов режима увлажнения проектной территории «Жада»

Table 6. Phytoindicative moisture indices statistical indicators of the Zhada reserve

Статистический показатель	Индексы увлажнения (mF) по шкалам Х.Эллэнберга		
	2011 г.	2013 г.	2017 г.
Природный комплекс РЗ «Жада»			
M	7,32	7,36	7,39
±m	0,13	0,02	0,02
Me	7,27	7,28	7,30
σ	0,58	0,56	0,40
min	6,8	6,45	6,80
max	8,5	8,57	8,65
n	21	286	521
Участок РЗ «Жада», где проведены мероприятия по вторичному обводнению			
M	6,90	6,98	7,19
±m	0,14	0,04	0,02
Me	7,01	6,90	7,26
σ	0,54	0,60	0,30
min	6,80	6,45	6,80
max	8,44	8,57	8,10
n	15	286	204



А – 2013 г. (1 год после мероприятий по вторичному обводнению)



А – 2017 г. (5 лет после мероприятий по вторичному обводнению)

Рис. 24. Синфитоиндикационная оценка увлажнения местообитаний территории РЗ «Жада», где проведены мероприятия по вторичному обводнению

Fig. 24. Synphytoindicative assessment of habitat moisture in the Zhada reserve territory, with rebocking

Уровень стояния болотных вод на этом участке находится в пределах $-2 \div -5$ см. Довольно увлажненными ($mF=7,7$) являются местообитания, примыкающие к восточному побережью озера Илово, где сохранились фрагменты грядово-мочажинного комплекса (рис. 25, 26).

Основная часть местообитаний характеризуется значениями $mF=6,86-7,00$, что указывает на довольно низкий уровень стояния болотных вод ($-25 \div -23$ см). Болотные биотопы с аномальным режимом увлажнения ($mF \leq 6,85$; УСВ < -30 см) приурочены к мелиоративной сети модельной территории в западном секторе, а также в пределах бывшей торфоплощадки (см. рис. 26).

4. Использование экологических шкал и фитоиндикационных карт для оценки местообитаний растений и животных. Фитоиндикация экологического режима может быть использована для мониторинга биоразнообразия флоры и фауны. В качестве примера приведем взаимосвязь лимитирующего экологического фактора и распространение одного из важнейших индикаторов орнитоконспекса низинных болот – вертлявой камышевки (*Acrocephalus paludicola*) на территории ВБК «Дикое» (в составе национального парка «Беловежская пуща») (рис. 27–29), которое является местом обитания одной из крупных в Беларуси популяций вертлявой камышевки.

Таблица 7. Оценка трансформации гидрологического режима заказника «Жада» на основе фитоиндикационных данных

Table 7. Assessment of the hydrological regime transformation based on phytoindicative data in the Zhada reserve

Отклонение индекса увлажнения (mF) от фоновых значений	Оценка трансформации гидрологического режима	Распределение площадей	
		га	%
> 1,00	очень сильное осушительное воздействие	57,9	1,2
1,00 – 0,51	сильное осушительное воздействие	485,7	10,3
0,50 – 0,26	умеренное осушительное воздействие	1606,6	33,8
0,25 – 0,01	слабое осушительное воздействие	1805,4	38,0
0,00 – -0,25	слабое увеличение обводнения и заболачивание	594,5	12,5
< -0,25	умеренное увеличение обводнения и заболачивание	199,3	4,2

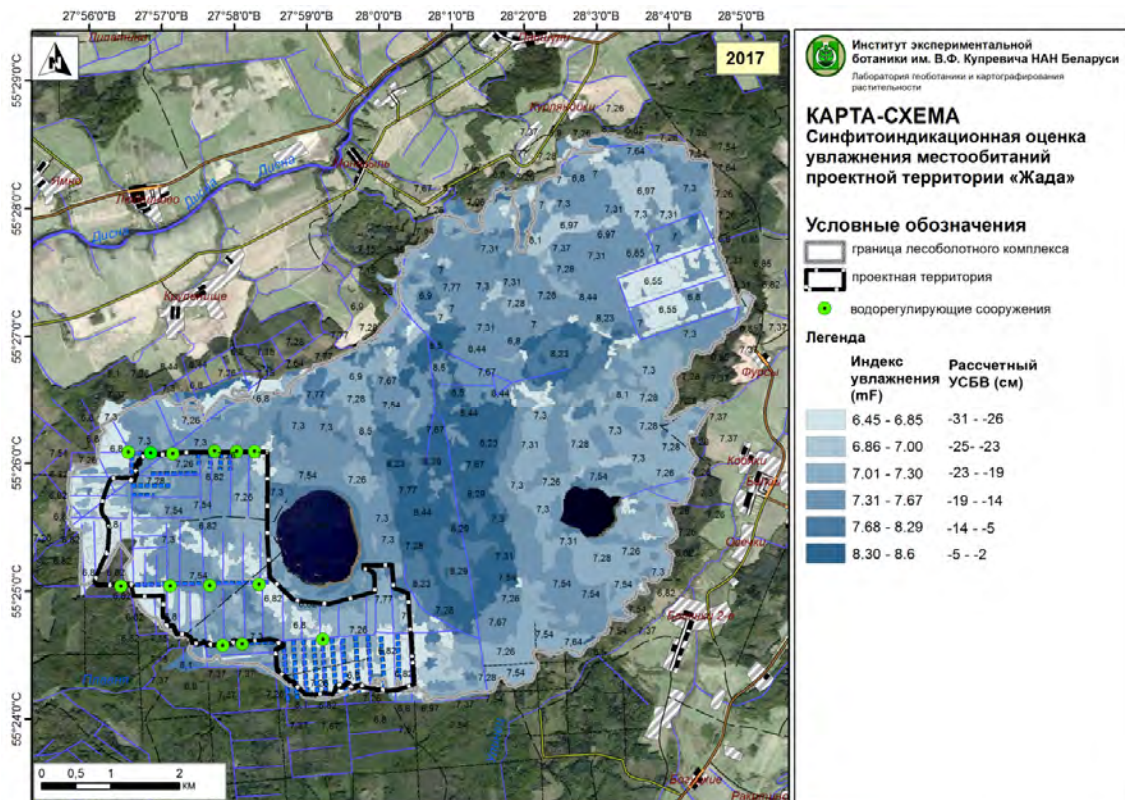


Рис. 25. Синфитоиндикационная оценка увлажнения местообитаний РЗ «Жада» (2017 г.)

Fig. 25. Synphytoindicative assessment of the moisture habitats in the Zhada reserve (2017)

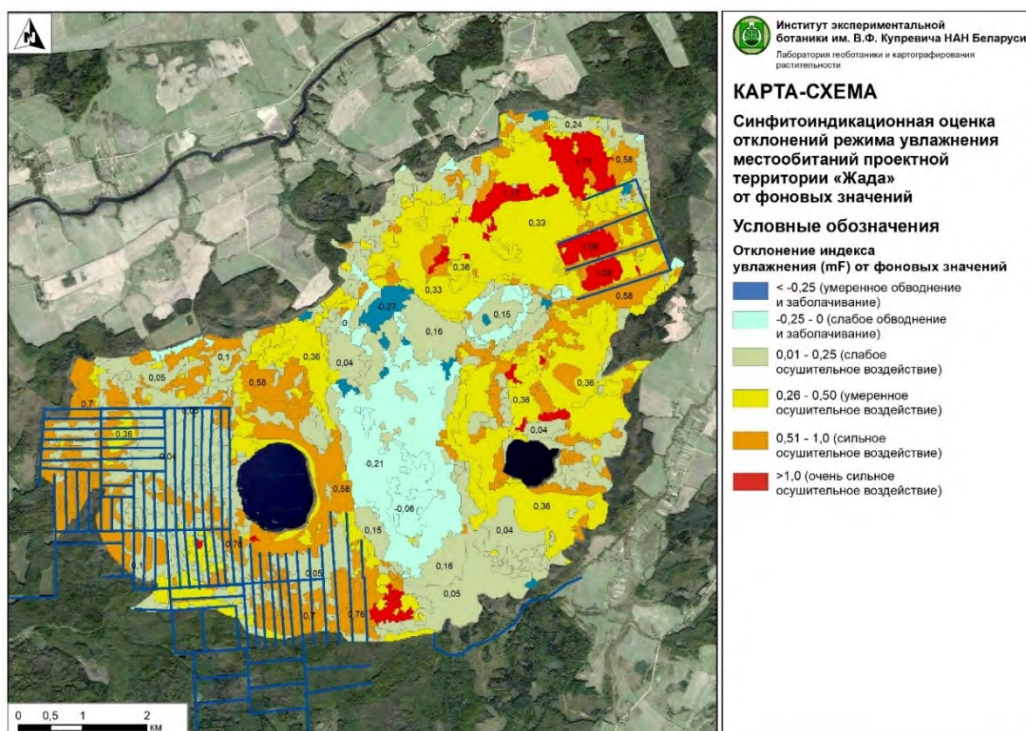


Рис. 26. Синфитоиндикационная оценка отклонений режима увлажнения местообитаний РЗ «Жада» от фоновых значений естественных верховых болот (2017 г.)

Fig. 26. Synphytoindicative assessment of the moisture regime deviations in the Zhada reserve habitats from natural raised bogs background values (2017)

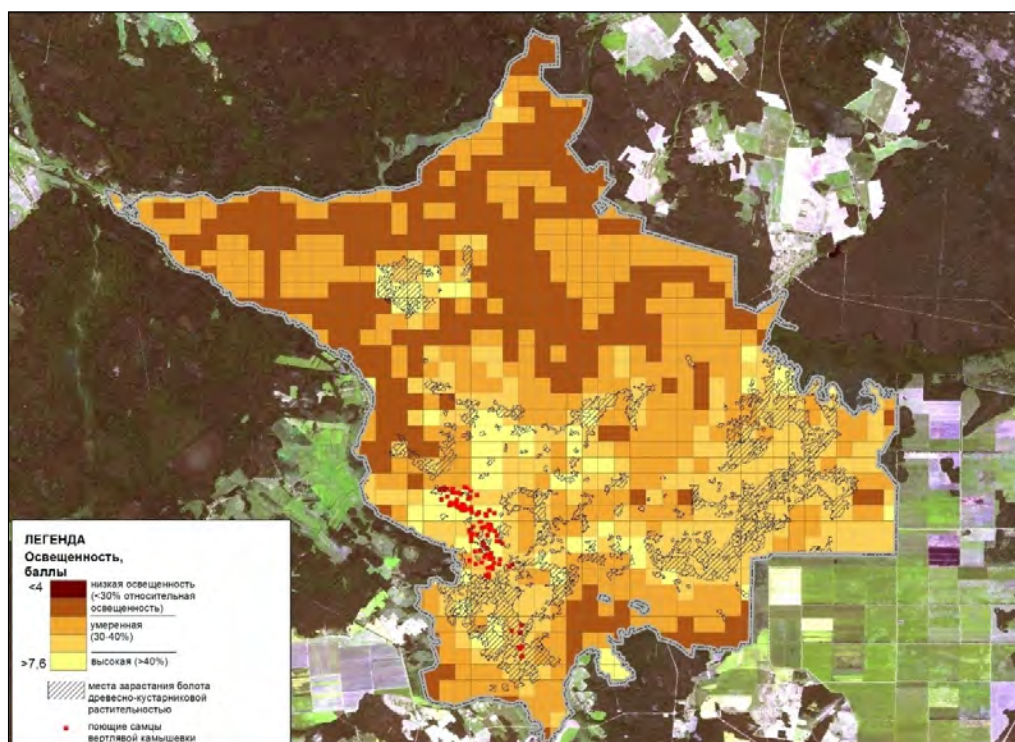
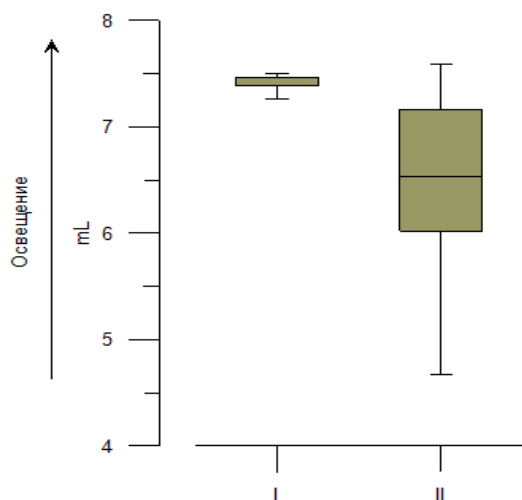


Рис. 27. Режим освещения местообитаний и пространственное распределение поющих самцов вертялвой камышевки (*Acrocephalus paludicola*) в границах Рамсарской территории «Болото Дикое» (2016 г.)

Fig. 27. Habitat lighting and spatial distribution of singing male aquatic warblers (*Acrocephalus paludicola*) within the "Dikoe Fen Mire" Ramsar site boundaries (2016)



I – места обитания болота «Дикое», где обнаружены поющие самцы вертлявой камышевка (*Acrocephalus paludicola*)
II – местообитания болота «Дикое» в целом

Рис. 28. Фитоиндикационные оценки режима освещенности местообитаний ВБК «Дикое»

Fig. 28. Phytoindicative assessments of the lighting in the wetland complex "Dikoe" habitats

В 2019 г., согласно проведенным абсолютным учетам, здесь обитало 118 самцов вертлявой камышевки. На территории водно-болотного угодья численность этого вида имеет тенденцию к снижению в последние 15 лет. Кроме того, в последние 3–4 года численность поющих самцов в период второй кладки (июль) сокращается в 2–3 раза по сравнению с первой (май-июнь) в течение одного сезона размножения.

Основной причиной такого снижения является постепенное зарастание низинного болота древесно-кустарниковой растительностью (см. рис. 27). В течение последних десятилетий в результате нарушения гидрологического режима, изменения характера землепользования (прежде всего прекращения сенокосения), а также естественных природных процессов на территории ВБК «Дикое» площадь открытых (нелесных) участков болот сократилась на 9305,9 га: с 14116,5 га (60,9% от площади водно-болотного

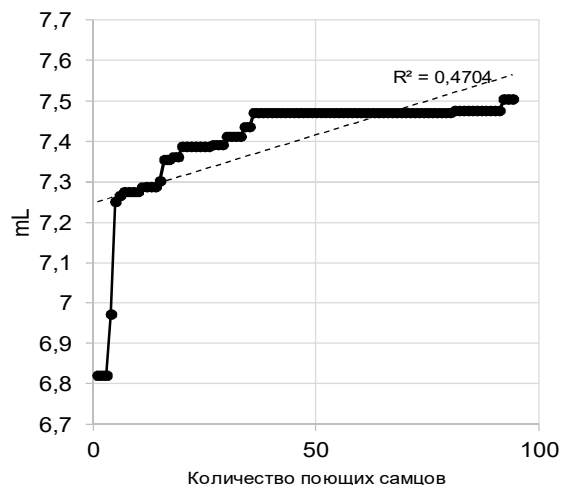


Рис. 29. Фитоиндикационные оценки режима освещенности местообитаний ВБК «Дикое», где обнаружены поющие самцы вертлявой камышевка (*Acrocephalus paludicola*)

Fig. 29. Phytoindicative assessments of the lighting in the wetland complex "Dikoe" habitats, where aquatic warbler singing males (*Acrocephalus paludicola*)

угодья) в 1949 г. до 4810,6 га (20,8%) в 2018 г., при этом наиболее существенные процессы трансформации болотных местообитаний наблюдались в последние три десятилетия [37].

Фитоиндикация экологических режимов местообитаний вертлявой камышевки показала, что режим освещенности характеризуется крайне узким диапазоном (mL = 6,8–7,5 баллов) с максимальной концентрацией ее местообитаний при mL = 7,4–7,5) (см. рис. 29). Поющие самцы вертлявой камышевки зафиксированы в стабильных (не зарастающих древесно-кустарниковой растительностью) и наиболее освещенных (>40%) участках осокового низинного болота (см. рис. 27). В границах болота такие биотопы имеют крайне ограниченное распространение и в целом режим освещенности водно-болотного угодья «Болото Дикое» в настоящее время не обеспечивает необходимые требования этого индикаторного вида к данному фактору (см. рис. 28).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Фитоиндикация с использованием стандартных экологических шкал предлагает менее затратную по времени и более дешевую альтернативу прямому измерению локальных переменных окружающей среды.

2. Применение стандартных экокштал Х. Элленберга в условиях нашего региона вполне адекватно отражает экологические режимы при-

родных экосистем. Это подтверждается как сравнением фитоиндикационных и инструментальных измерений экологических характеристик, так и сопоставлением картосхем, отражающих пространственные вариации параметров окружающей среды.

3. Использование картографического метода является мощным инструментом изучения сложных фитосистем, в функционировании которых, кроме факторов биологической природы, значи-

тельную роль играют факторы среды. Картографирование экологических режимов, на основе инструментальных и фитоиндикационных измерений в наших исследованиях осуществлялось по 2-м направлениям: на основе интерполяционных расчетов (в качестве метода пространственной интерполяции использовали крикинг) и на основе геоботанической карты. Как показали результаты исследований, оба эти метода имеют

перспективность использования при отображении переменных окружающей среды.

4. Результаты фитоиндикационного картографирования могут быть широко использованы в практике мониторинга (в т.ч. и ретроспективной) экологических режимов местообитаний, а также реакции элементов биоразнообразия (видов, сообществ, экосистем) на изменение экологических переменных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дідух, Я. П. Основи біоіндикації / Я. П. Дідух. – Київ: Наукова думка, 2012. – 344 с.
2. Бузук, Г. Н. Фитоиндикация с применением экологических шкал и регрессионного анализа / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2017. – № 1 (75). – С. 35–40.
3. Englisch, T. Zeigerwertsysteme in der Vegetationsanalyse – Anwendbarkeit, Nutzen und Probleme in Österreich / T. Englisch, G. Karrer. – Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft. – N. 13, 2001. – S. 83–102.
4. Diekmann, M. Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review / M. Diekmann, // Basic and Applied Ecology. – N 4, 2003. – P. 493–506. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00185>.
5. Zelený, D. Too good to be true: pitfalls of using mean Ellenberg indicator values in vegetation analyses / D. Zelený, A. P. Schaffers // Journal of Vegetation Science. – N 23, 2012. – P. 419–431. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2011.01366.x>
6. Marcenò, C. A test on Ellenberg indicator values in the Mediterranean evergreen woods (*Quercetea ilicis*) / C. Marcenò, R. Guarino // Rendiconti Lincei. – N 26, 2015. – P. 345–356. <https://doi.org/10.1007/s12210-015-0448-8>
7. Smart, S. M. Ecological assessment of vegetation from a nature reserve using regional reference data and indicator scores / S. M. Smart // Biodiversity and Conservation. – N 9, 2000. – P. 811–832. <https://doi.org/10.1023/A:1008948602316>
8. Раменский, Л. Г. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский [и др.]. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 472 с.
9. Zolyomi, B. Einreihung von 1400 Arten der ungarischen Flora in ökologische Gruppen nach TWR-Zahlen / B. Zolyomi [et al.] // Fragm. bot. Musei Hist. – Natur. Hung. – 4, fasc. 1–4, 1966. – S. 101–142.
10. Экологическая оценка кормовых угодий Кавказа по растительному покрову / под ред. И. А. Цаценкина. – М.: ВНИИ кормов, 1968. – 209 с.
11. Цаценкин, И. А. Экологическая оценка кормовых угодий Карпат и Балкан по растительному покрову / И. А. Цаценкин. – М.: ВНИИ кормов, 1970. – 250 с.
12. Цаценкин, И. А. Экологическая оценка пастбищ и сенокосов Памира по растительному покрову / И. А. Цаценкин, А.Е. Касач. – Душанбе: Дониш, 1970. – 96 с.
13. Цаценкин, И. А. Методические указания по экологической оценке кормовых угодий лесостепной и степной зон Сибири по растительному покрову / И. А. Цаценкин [и др.] – М.: ВНИИ кормов, 1974. – 248 с.
14. Landolt, E. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora / E. Landolt // Veroff. Geobot. Inst. der Eidgen. Techn. Hochschule Zurich. – N 64, 1977. – S. 1–208.
15. Цыганов, Д. Н. Экоморфы флоры хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – М.: Наука, 1976. – 60 с.
16. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических факторов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – М.: Наука, 1983. – 198 с.
17. Ellenberg, H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas / H. Ellenberg // Scr. geobot. – N 9, 1979. – S. 9–160.
18. Ellenberg, H. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa / H. Ellenberg [et al.] // Scr. geobot. – N 18, 1992. – S. 1–258.
19. Zarzycki, K. Ekologiczne liczby wskaźnikowe roślin naczyniowych / K. Zarzycki. – Krakow: PAN, 1984. – 46 s.
20. Frank, D. Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR / D. Frank, S. Klotz. – Halle: M. Luther Univer., 1988. – 103 s.
21. Дідух, Я. П. Фітоіндикація екологічних факторів / Я. П. Дідух, П.Г. Плюта – Київ: Ін-т ботаніки НАЛ України, 1994. – 280 с.
22. Dengler, J. Ecological Indicator Values for Europe (EIVE) 1.0 / J. Dengler [et al.] // Vegetation Classification and Survey. – N 4, 2023. – P. 7–29. <https://doi.org/10.3897/VCS.98324>
23. Hájek, M. Towards the pan-European bioindication system: Assessing and testing updated hydrological indicator values for vascular plants and bryophytes in mires / M. Hájek [et al.] // Ecological Indicators. – N 116, 2020. – P. 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106527>
24. Midolo, G. Disturbance indicator values for European plants / G. Midolo [et al.] // Global Ecology and Biogeography. – N 32, 2023. – P. 24–34. <https://doi.org/10.1111/geb.13603>
25. Tichý, L. Ellenberg-type indicator values for European vascular plant species / L. Tichý [et al.] // Journal of Vegetation Science. – N 34, 2023. – P. 1–13. <https://doi.org/10.1111/jvs.13168>
26. Соболев, Л. Н. Опыт построения территориальной экологической схемы местообитаний растительности для степной зоны Казахстана / Л. Н. Соболев // Исследования географии природных ресурсов животного и растительного мира. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 199–227.
27. Бузук, Г. Н. Лимитирующие факторы для фитоценозов: технология оценки (на примере сосновых лесов Центральной Беларуси) / Г. Н. Бузук, О. В. Созинов, Р. В. Цвирко // Социально-экологические технологии (Вестник МГТУ им. М.А. Шолохова). № 1, 2017. – С. 27–40.
28. Прижуков, Ф. Б. Опыт оценки растительности поймы р. Луги по экологическим таблицам Л. Г. Раменского / Ф. Б. Прижуков // Ботан. журн. – № 1 (47), 1962. – С. 92–95.

29. Утехин, В. Д. Первичная биологическая продуктивность лесостепных экосистем / В. Д. Утехин. – М.: Наука, 1977. – 46 с.
30. Slobodda, S. Okologische Zeigerwerte für Moose in Nidermoor-Pflanzengesellschaften / S. Slobodda // Arch. Freunde Naturgeschichte Mecklenburg Rostock. N 18, 1978. – S. 49–63.
31. Булохов, А. Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации / А. Д. Булохов. – Брянск: Изд-во Брян. гос. пед. ун-та, 1996. – 104 с.
32. Федорчук, В. И. О связи производительности древостоев с оценками лесных сообществ по экологическим шкалам / В. И. Федорчук // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. – № 92, вып. 2, 1987. – С. 80–87.
33. Федорчук, І. В. Фітомоніторинг основних річок Національного природного парку «Подільські Товтри»: автореф. дис... канд. біол. наук: (03.00.16) / І. В. Федорчук. – Київ. нац. ун-т, 2005. – 20 с.
34. Маслов, А. А. К оценке параметров экологических ниш лесных растений при помощи индикационных шкал / А. А. Маслов // Перспективы теории фитоценологии: Тез. симп. (Ляэлату-Пухту, 16–20 мая 1988 г.) – Тарту, 1988. – С. 105–110.
35. Зверев А. А. Методические аспекты применения фитоиндикационного анализа в изучении биоразнообразия / А. А. Зверев // Сибирский экологический журнал. – № 4, 2020. – С. 401–415. DOI: 10.15372/SEJ20200401.
36. Панфилов, Д. В. Применение территориальной экологической схемы для исследований местообитаний насекомых / Д. В. Панфилов // Исследования географических природных ресурсов животного и растительного мира. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 235–241.
37. Рамсарские территории Беларуси: «Болото Дикое» / Д. Г. Груммо [и др.]; под ред. Д. Г. Груммо. – Минск: Колорград, 2020. – 260 с.
38. Zlatnik, A. Die Vegetationsstufen und deren Indikation durch Pflanzenarten am Beispiel der Walder der CSSR / A. Zlatnik // Preslia. – N 1 (35), 1963. – S. 31–51.
39. Ипатов, В. С. О применении экологических таблиц для оценки типов леса / В. С. Ипатов // Вести. Ленингр. ун-та. Биология. № 21, 1964. – С. 150–152.
40. Ипатов, В. С. Исследования разнородной изменчивости растительного покрова в таежном лесу / В. С. Ипатов, Т. Н. Гархова // Ботан. журн. – № 12 (54), 1969. – С. 1939–1950.
41. Савельева, Л. Н. О применении экологических шкал для диагностики типов леса / Л. Н. Савельева // Деп. в ВИНТИ № 8388, 1988. – 21 с.
42. Казанская, Н. С. Опыт применения экологических шкал Л. Г. Раменского при количественном изучении динамики растительности / Н. С. Казанская, Б. Д. Утехин // Ботан. журн. – № 8 (56), 1971. – С. 1135–1140.
43. Санникова, Т. И. Опыт экологической классификации пойменных лугов р. Сейм / Т. И. Санникова // Вопросы ботаники. Науч. тр. Курск. пед. ин-та. № 10 (89), 1972. – С. 15–29.
44. Балашов, Л. С. Рослини-індикатори надмірного новопідтоплення / Л. С. Балашов // Укр. ботан. журн. – № 6 (26), 1969. – С. 70–75.
45. Самойлов, Ю. И. Некоторые результаты сравнения экологических шкал Раменского, Эллеберга, Хундта и Клаппа / Ю. И. Самойлов // Ботан. журн. – № 5 (58), 1973. – С. 646–655.
46. Самойлов, Ю. И. Экологические шкалы Л. Г. Раменского и аспекты их применения / Ю. И. Самойлов // Ботан. журн. – № 2 (71), 1986. – С. 137–147.
47. Груммо, Д. Г. Экологическая характеристика растительности сфагновых болот Беларуси / Д. Г. Груммо // Ботаника: исследования. – Вып. 41, 2012. – С. 178–200.
48. Флора и растительность верховых болот Беларуси / Н. А. Зеленкевич [и др.]. – Минск: СтройМедиаПроект, 2016. – 244 с.
49. Работнов, Г. А. К методике составления экологических шкал / Г. А. Работнов // Ботан. журн. № 4 (43), 1958. – С. 518–527.
50. Растительность и биотопы национального парка «Нарочанский» с картой наземной растительности (М 1: 60 000) и картой биотопов (М 1: 60 000). / Д. Г. Груммо [и др.]; под науч. ред. А. В. Пугачевского. – Минск, 2017. – 82 с.
51. Груммо, Д. Г. Карта растительности национального парка «Беловежская пуща»: опыт создания и практического использования / Д. Г. Груммо [и др.] // Геоботаническое картографирование. – 2019. – С. 18–38.
52. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Агрохимия и почвоведение» / Е. В. Аринушкина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.
53. Василевич, В. И. Статистические методы в геоботанике / В. И. Василевич. – Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1969. – 232 с.
54. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М: Наука, 1984. – 424 с.
55. Халафян, А. А. Статистический анализ данных Statistica 6.0: учебное пособие / А. А. Халафян. – Краснодар: КубГУ, 2005. – 307 с.
56. Мысльва, Т. Н. Эффективность методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения рН в почве / Т. Н. Мысльва, О. А. Куцаева, Ю. А. Белявский // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Серия: Почвоведение, агрохимия, земледелие, лесное хозяйство, экология почв. – № 2. – 2017. – С. 293–302.
57. Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д. Г. Груммо [и др.]; под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника. – Минск: Беларуская навука, 2023. – 351 с.

Поступила в редакцию 22.05.2023 г.

УДК 581.524

А. Ю. КОМАР¹, О. В. СОЗИНОВ²**СИНТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МЕЛИОРАТИВНО-ПРОИЗВОДНЫХ СОСНЯКОВ ЗАКАЗНИКА «НАЛИБОКСКИЙ»**¹Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: artur.komar@tut.by²Гродненский государственный университет имени Я. Купалы, Гродно, Беларусь, e-mail: o.sozinov@grsu.by

Аннотация. Изучено синтаксономическое разнообразие мелиоративно-производных сосняков низкоэффективных осушительных систем заказника «Налибокский» (Беларусь). С использованием флористической, фитоценотической и лесохозяйственной классификаций выявлено 7 синтаксонов. Предложен вариант *Vaccinium uliginosum* ассоциации *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973. Сообщество *Pinus sylvestris* – *Thelypteris palustris* – *Sphagnum centrale* (на торфе) ранжировано только до класса (по флористической классификации). По каждому синтаксону приведена классификационная, ценотическая и экологическая характеристика. Флористическое своеобразие синтаксонов и влияние экологических факторов на их дифференциацию продемонстрированы методом нелинейного многомерного шкалирования (NMDS). Выявлено, что основными лимитирующими факторами, определяющими разнообразие мелиоративно-производных сосняков, являются почвенно-грунтовые условия нарушенных болотных экосистем: глубина и обводненность торфяной залежи, химические характеристики торфа (зольность, кислотность).

Ключевые слова: заказник «Налибокский», осушительная мелиорация, повторное заболачивание, синтаксономия, ординация, мелиоративно-производные леса, болотные сосняки, *Vaccinio – Piceetea*, *Vaccinio uliginosi* – *Pinion sylvestris*, *Dicrano – Pinion sylvestris*, *Piceion excelsae*.

A. Yu. KOMAR¹, O. V. SOZINOV²**DRAINED SCOTS PINE FORESTS SYNTAXONOMIC DIVERSITY OF NALIBOKSKY RESERVE**¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: artur.komar@tut.by²Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus, e-mail: o.sozinov@grsu.by

Annotation. The syntaxonomic diversity of drained pine forests of low-efficiency drainage systems of the Naliboksky Reserve (Belarus) has been studied. Using floristic, phytocenotic and forestry classifications, 7 syntaxons were identified. A variant of *Vaccinium uliginosum* of the association *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973 was proposed. The *Pinetum fontinale-herbosum* (on peat) is ranked only up to the class (according to the floral classification). Classification, cenotic and ecological characteristics are given for each syntaxon. The floral originality of syntaxons and the role of environmental factors in their differentiation are demonstrated by the method of nonlinear multidimensional scaling (NMDS). It was revealed that the main limiting factor determining the diversity of drained pine forests is the soil-soil conditions of disturbed bog ecosystems: depth and water content, peat deposits, chemical characteristics of peat.

Keywords: Naliboksky Reserve, drainage reclamation, rewetting, syntaxonomy, ordination, drained forest, marsh pine forest, *Vaccinio – Piceetea*, *Vaccinio uliginosi* – *Pinion sylvestris*, *Dicrano – Pinion sylvestris*, *Piceion excelsae*.

ВВЕДЕНИЕ

Классификация мелиоративно-производных лесов отражает трансформацию видового состава и структуры лесных фитоценозов в результате гидролесомелиорации. В зонах влияния осушительной мелиорации в зависимости от гидрологических условий происходит смещение в эдафотитоценотическом ряду в сторону формирования менее увлажненных типов леса (мезофитиза-

ция биотопов) [1]. При интенсивном осушении лесных верховых болот формируются типы леса, близкие по структуре, составу и продуктивности к своим аналогам на минеральных почвах [2, 3]. Важную экологическую роль играет тип торфяной залежи и ее глубина [4, 5]. При осушении верховых болот формируются типы леса, аналогичные соснякам брусничным и мшистым [2],

при осушении бедных переходных болот – ельники черничные, а при осушении богатых переходных и низинных болот формируются высокопродуктивные ельники кисличные. Отмечено, что осушенные леса во многом схожи, например, по продуктивности, но часто отличаются условиями произрастания. Каждому типу леса соответствует набор организационно-технических мероприятий при хозяйствовании в них, поэтому мероприятия будут разные на минеральных и органических почвах. Соответственно, неоднократно, в том числе зарубежом, обсуждались вопросы выделения особых мелиоративно-производных типов леса [5–9].

В первые десятилетия после осушения в 1970–1980-е гг. в практике белорусских лесоустроителей было принято выделять мелиоративно-производные типы леса с маркировкой в виде добавления буквы «-м» к типу леса, например С. баг-м (сосняк багульниковый мелиоративно-производный). В настоящее время от такой практики отказались. В дальнейшем попытки классифицировать мелиоративно-производные сосняки привели к выделению 4 типов: сосняк малиново-черничный (*turfosum* – бедные болотные почвы), сосняк осоково-долгомошный, сосняк разнотравно-осоковый, сосняк вересково-багульниковый [3, 10]. В работах белорусских геоботаников [11] приведены мелиоративно-производные ассоциации типов осушенных лесов, которые нашли отражение в ТКП 587-2016 «Правила выделения типов леса» [12].

Спорными моментами большинства классификаций лесной растительности Ю. В. Нешатаев [13] среди всего прочего называет выделение типа леса по классу бонитета древостоя и по доми-

нантам живого напочвенного покрова, которые имеют широкую экологическую валентность, не учитывая местопроизрастание (тип лесорастительных условий – ТЛУ) и подчиненные ярусы. Данная проблема в лесной типологии актуальна, в первую очередь, для мелиоративно-производных лесов, где, после осушения, улучшается продуктивность древостоев, повышается класс бонитета и, в целом, происходит значительная трансформация растительности и биотопа [1, 2].

В геоботанике часто используется эколого-флористическая классификация лесной растительности [14], что нашло отражение и в описании мелиоративно-производных классификационных единиц, в первую очередь вариантов ассоциаций [15]. Белорусскими геоботаниками описан вариант *Vaccinium myrtillus* ассоциации *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929 [16]. Проблемам классификации мелиоративно-производных типов леса в конце XX в. уделялось много внимания. В первую очередь это связано с тем, что с 1990-х гг. практически прекратились уходы за осушительной сетью лесных территорий, что привело к её деградации (для поддержания производительности осушительной сети необходимо производить ее ремонт каждые 15–20 лет [1]). Соответственно, при повторном заболачивании либо подтоплении происходит смена преобладающего вида древесного яруса и, в целом, всей экосистемы [1, 11].

Цель данной работы заключается в выявлении синтаксономического разнообразия производно-мелиоративных сосняков заказника «Налибокский» на современном этапе и основных экологических факторов, определяющих данное разнообразие.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский» (рис. 1), входящий в состав крупного лесного массива «Налибокская пушча» (белор. Налибокская пушча), занимает площадь 86,9 тыс. га, из которых 78,4 тыс. га приходится на лесной фонд. Расположен заказник в 70 км к западу от Минска на территории Воложинского и Столбцовского районов Минской области и Ивьевского и Новогрудского районов Гродненской области. Международная значимость заказника «Налибокский» для сохранения биологического разнообразия подтверждается тем, что он имеет статус ключевой ботанической территории и территории, важной для птиц [17].

Согласно геоботаническому районированию Беларуси, эта территория относится к Налибокскому и частично Неманскому геоботаническим

районам Неманско-Предполесского геоботанического округа подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов евразийской таёжной зоны [18].

Господствующим типом экосистем заказника являются леса. На их долю приходится 89,9% территории. Сельскохозяйственные земли занимают 10%. Антропогенными, урбанизированными и индустриальными территориями занято 0,1%. Общая площадь болотных и заболоченных сосновых лесов заказника составляет 5089,3 га (6,5% от общей территории лесного фонда заказника).

В 1969–1977 гг. была проведена гидрлесомелиорация на большей части заказника. Общая площадь осушенных земель в пределах заказника составила около 20 тыс. га, общая протяженность осушительной сети – 993 км, в том числе 158 км – длина магистральных каналов. В насто-

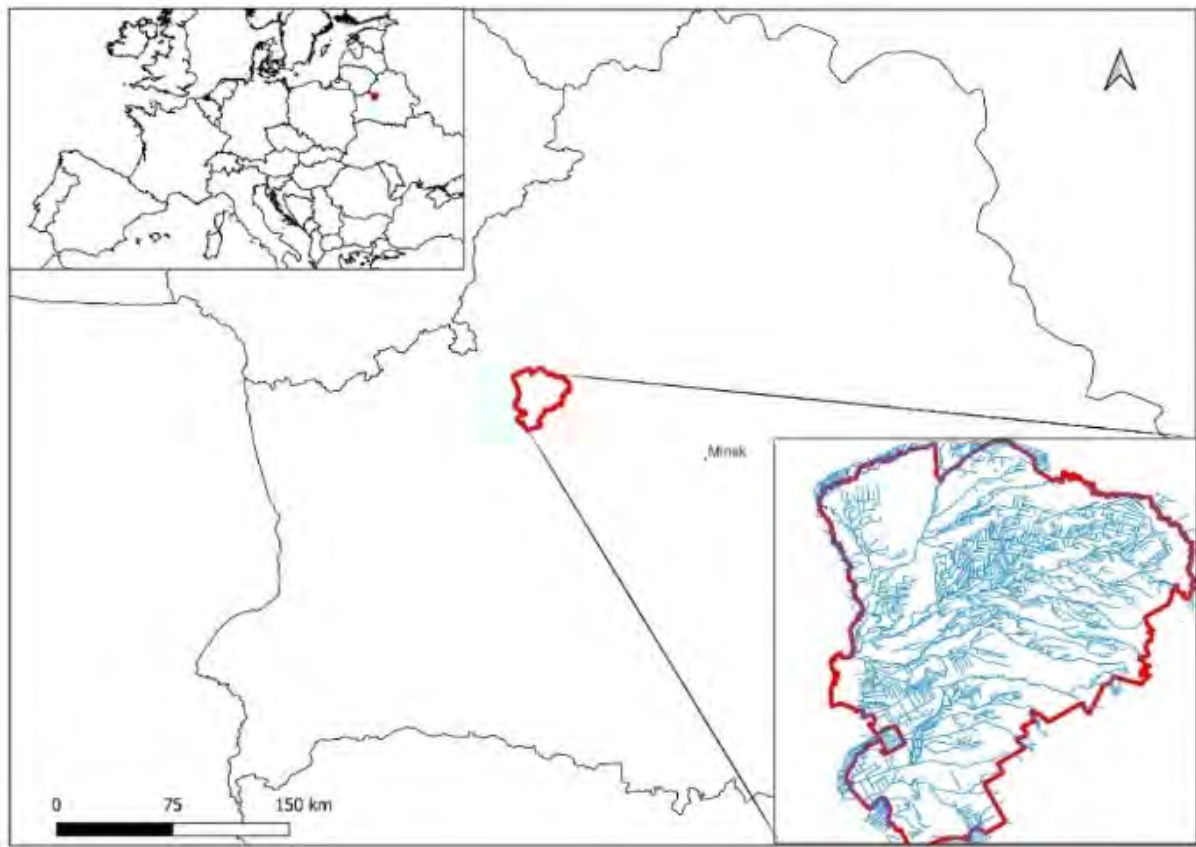


Рис. 1. Местоположение заказника «Налибокский» на территории Беларуси

Fig. 1. Location of the Naliboksky Reserve in Belarus

ящий момент около 90% осушительной сети не выполняет в полной мере дренирующей функции и требует ремонта. В результате отмечены процессы вторичного обводнения территории и естественного восстановления болотных экосистем [19, 20], вследствие деятельности бобров (*Castor fiber*) [21].

Климат заказника «Налибокский» умеренно континентальный, умеренно влажный, тёплый. Это обусловлено прежде всего влиянием западных воздушных масс, поступающих с Атлантики [22]. Среднегодовое количество осадков, по данным Новогрудской, Столбцовой и Воложинской метеостанций, между которыми располагается заказник, составляет 689 мм. Среднегодовая температура воздуха составляет +3,4°C. Температура воздуха за период с 2009 по 2019 гг. на территории заказника была существенно выше, чем средние показатели за период 1946–2009 гг. Средняя температура января повысилась на 1,8°C, февраля – на 1,4°C, декабря – 1,1°C. Теплее на 1,5°C стали март и апрель. На 1,0–1,5°C повысилась температура летних месяцев, на 0,8–1,2°C – температура осенних месяцев. Потепление климата привело к возникновению засушливых явлений и ослаблению или гибели некоторых насаждений [23].

Рельеф заказника «Налибокский» сформировался около 100 тыс. лет назад под влиянием Сожского оледенения [24]. Большая часть территории заказника представляет собой заболоченную плоско-холмистую низину (Любчанская низина Верхненеманской низменности) [24, 25], которая относится к бассейну р. Неман. Отмечаются моренные формы рельефа, материковые дюны, гряды и т.д. По берегам рек сохранились фрагменты надпойменных террас. Территория пуши ограничена на севере Ошмянской грядой, на востоке – Минской возвышенностью и на западе – Лидской равниной. Наиболее заболочена северная часть массива, примыкающая к Ошмянской гряде (около рек Березина, Исlochь, Волка), а также южная часть нижнего течения реки Уса. Главной водной артерией заказника является р. Березина (Западная Березина). Главные её притоки: левый – р. Исlochь, правый – р. Ольшанка. Реки заказника относятся к типу равнинных с преобладанием снегового питания и характеризуются небольшими уклонами, обширными, слабо выраженными долинами и медленным течением. Любчанская водно-ледниковая низина дренируется низовьями притоков Немана. В долинах развиты заболоченные поймы и фрагменты надпойменных террас [26].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для репрезентативного сбора полевого материала нами использован маршрутно-детальный метод (рис. 2), позволяющий оценить все фитоценоотическое разнообразие осушенных сосновых лесов (*Pineta*) заказника. Выбор фитоценозов для описания проводили на основе планов лесонасаждений, используя принцип типичности. В наиболее типичных фитоценозах с однородным рельефом, лесотаксационными показателями и ненарушенным живым напочвенным покровом, расположенных на расстоянии 30–50 м от

осушительных или магистральных каналов, были сделаны полные геоботанические описания ($n = 125$) на временных пробных площадях 400 и 625 м² квадратной формы [27, 28] с привязкой к географическим координатам (WGS84). Таксационные показатели древостоев, такие как высота и возраст, определяли глазомерно, при необходимости уточняя (по трем-пяти средним модельным деревьям). Проективное покрытие видов растений оценивали по ярусам в процентах от пробной площади.

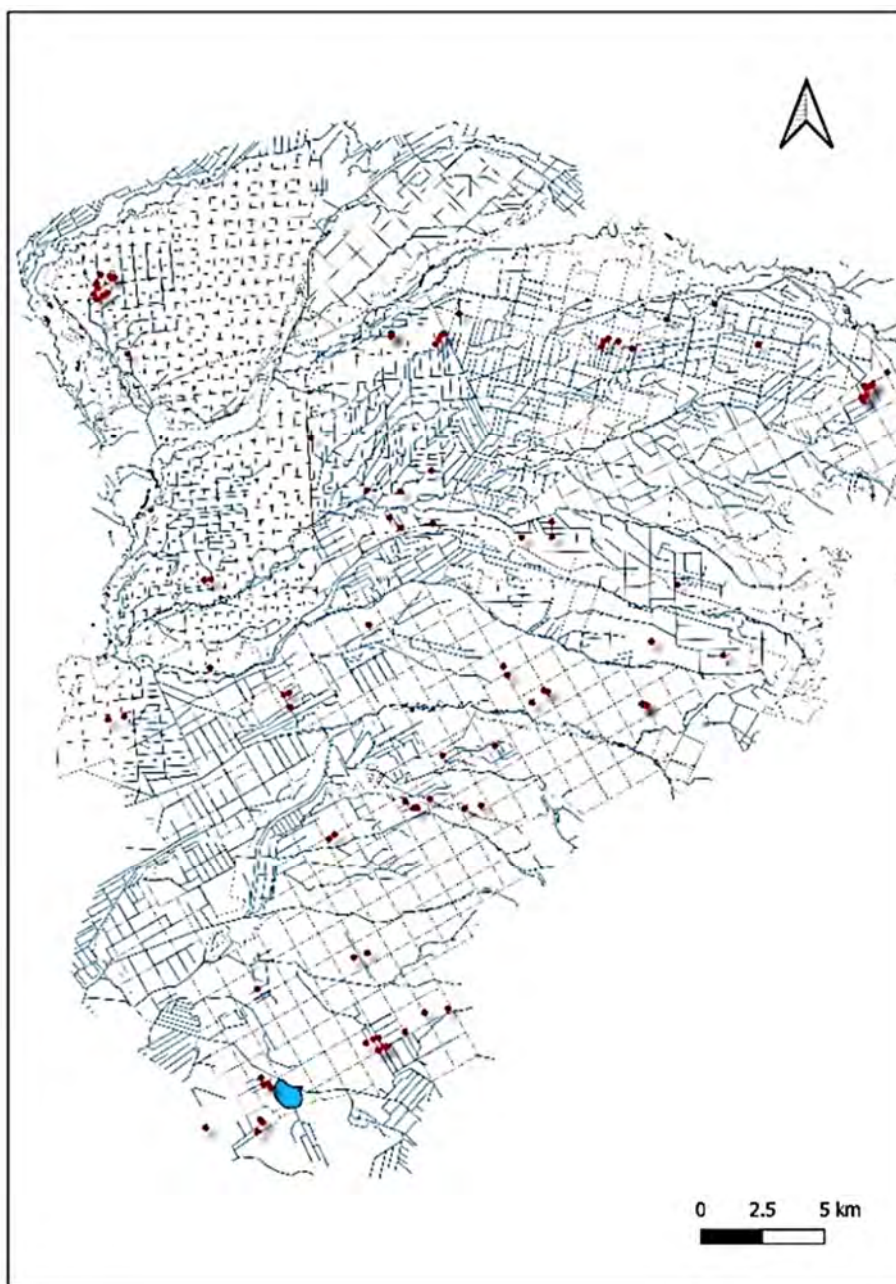


Рис. 2. Расположение временных пробных площадей (красные точки) в пределах осушительной сети заказника «Налибокский»

Fig. 2. Location of geobotanical descriptions within the drainage network of the Naliboksky Reserve

Всего в текущий анализ нами взято 96 описаний (см. рис. 2) производно-мелиоративных сосняков. Геоботанические описания производно-мелиоративных сосняков заказника охватывают площадь 572 га (11,2% от площади болотных и заболоченных сосновых лесов). Так как не все болотные сосняки заказника были осушены, то доля охвата осушенных болотных лесов оказалась выше.

Классификацию фитоценозов делали на основе подходов эколого-флористической классификации, соотнося её с доминантной, используемой в лесохозяйственной практике в Беларуси.

Процесс *эколого-флористической классификации* растительности [29] (по Браун-Бланке) включал в себя следующие шаги в камеральных условиях на основе геоботанических описаний: составление валовой неупорядоченной таблицы, таблицы постоянства, разделительной таблицы [30], выделение фитоценозов (переупорядочение столбцов), синтаксономический анализ [16]. Первичную обработку описаний осуществляли в программе JUICE, кластерный анализ выполнен при помощи программы TWINSpan [31–33]. В каждой выделенной группе мы устанавливали

верные виды [29]. Верность измеряли с помощью ϕ -коэффициента, расчёт которого предложили чешские геоботаники [34]. Величину ϕ -коэффициента приняли больше 0,3 [35]. Для всех типов сообществ установлен синтаксономический ранг ассоциации и ниже. Одно растительное сообщество мы отнесли к фитоценозу класса *Vaccinio – Piceetea*. Название фитоценозу дали по правилу В. В. Алехина [36].

В результате проведения флористической классификации изученных фитоценозов нами составлен перечень синтаксонов растительности (продромус) района исследования с указанием диагностических признаков и обоснованием синтаксономической иерархии.

Названия типов леса указаны по И. Д. Юркевичу (1980). Названия сосудистых растений – по С. К. Черепанову [37].

Осушенные сосновые леса заказника «Налибокский» согласно флористической классификации представлены одним классом – *Vaccinio – Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939, 3 порядками, 3 союзами, 3 ассоциациями, 1 субассоциацией, 5 вариантами, 1 фацией и 1 безранговым сообществом.

ПРОДРОМУС

Класс *Vaccinio – Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939

Порядок *Vaccinio uliginosi – Pinetalia sylvestris* Passarge 1968

Союз *Vaccinio uliginosi – Pinion sylvestris* Passarge 1968

Асс. *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* de Kleist 1929

Варианты: *typica*, *Vaccinium myrtillus*

Порядок *Pinetalia sylvestris* Oberd. 1957

Союз *Dicrano – Pinion sylvestris* Libbert 1933

Асс. *Molinio caeruleae – Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973

Субасс. *M. c.–P. s. Typicum*

Варианты: *typica*, *Vaccinium uliginosum*

Субасс. *M. c.–P. s. Ledetosum palustris* Bulokhov in Tsvirko et Semenishchenkov 2014

Порядок *Piceetalia excelsae* Pawłowski et al. 1928

Союз *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928

Асс. *Carici remotae – Piceetum abietis* Semenishchenkov 2014

Вариант *inops*

Фация *Pinus sylvestris*

Сообщества: *Pinus sylvestris – Thelypteris palustris – Sphagnum centrale* [*Vaccinio – Piceetea*].

Эколого-фитоценологическую классификацию растительных сообществ мы производили непосредственно в полевых условиях [38, 39]. Вначале визуально выявляли ярусы – древесный, кустарниковый, травяно-кустарничковый и моховой. Отмечали доминирующий вид, доминирующий род (например, *Sphagnum*) или доминирующую жизненную форму (кустарнички). Также при необходимости (при ТЛУ В₄) в названии синтаксона мы указывали наличие торфяной залежи (табл. 1).

Для лесохозяйственной классификации использовали ТКП 587-2016 «Правила выделения типов леса» (2016). Измеренные в полевых условиях таксационные показатели сравнивали с таблицей приложения Б [12], учитывая продуктивность насаждения, состав, местоположение и рельеф, подрост, подлесок, живой напочвенный покров.

Для оценки экологических режимов местобитаний синтаксонов мы использовали фитоиндикационные шкалы Г. Элленберга [40] на основе геоботанических описаний.

Таблица 1. Классификации мелиоративно-производных сосняков заказника «Налибокский»**Table 1.** Classifications of drained pine forests in the Naliboksky Reserve

№	Синтаксон (по Браун-Бланке)	Тип леса по ТКП 587-2016	Тип леса*	ТЛУ	Группа ассоциаций**	Характеристики торфа		
						глубина, м	pH _{KCl}	зольность, %
1	<i>Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris</i> var. <i>typica</i>	С. баг	С. ос-сф – 9 С. баг – 2	A ₅	Кустарничково-сфагновые сосняки	1,8	2,63	7,50
2	<i>Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris</i> var. <i>Vaccinium myrtillus</i>	С. баг	С. баг – 10 С. дм – 7 С. ос-сф – 2	A ₅	Чернично-багульниковые сосняки	1,2	2,72	6,22
3	<i>Molinio caeruleae – Pinetum sylvestris</i> var. <i>Vaccinium uliginosum</i>	С. чер	С. чер – 10 С. баг – 6 С. дм – 3	A ₄	Молиниевое-сфагново-черничные сосняки	0,7	2,60	7,57
4	<i>Molinio caeruleae – Pinetum sylvestris</i> субасс. <i>Ledetosum palustris</i>	С. дм	С. дм – 5 С. чер – 4	A ₄	Молиниевое-сфагново-долгомошные сосняки	0,5	2,71	12,16
5	<i>Molinio caeruleae – Pinetum sylvestris</i> var. <i>typica</i>	С. чер	С. чер – 15 С. дм – 4	A ₃	Молиниевое-черничные сосняки	0,1	–	–
6	<i>Carici remotae – Piceetum abietis</i> var. <i>inops</i>	С. чер	С. чер – 6	B ₄	Елово-черничные торфяные сосняки	0,7	3,20	14,73
7	<i>Pinus sylvestris – Thelypteris palustris – Sphagnum centrale</i> [<i>Vaccinio – Piceetea</i>]**	С. пр-тр	С. дм – 8 С. чер – 2 С. пр-тр – 3	B ₄	Болотно-травяные торфяные сосняки	0,7	3,52	11,00

* Тип леса по лесоустройству (2019–2021 гг.) – количество выделов; сокращенные названия типов леса – по ТКП 587-2016
 ** Эколого-фитоценотическая (доминантная) классификация;
 *** Безранговое сообщество (фитоценоз) класса *Vaccinio – Piceetea*.
 Примечания.
 «–» – данные отсутствуют; ТЛУ – тип лесорастительных условий.

Роль факторов окружающей среды в дифференциации синтаксонов нами определена на основе неметрического многомерного шкалирования (NMDS) в программе PAST 4.07b [41]. Применяли меру расстояния Брея-Кертиса, которая является наиболее используемой в экологических исследованиях [42, 43]. Для оценки качества ординации использовали индикатор стресса, который варьирует от 0 до 1 (или от 0 до 100%). При стрессе менее 0,05 качество анализа оценивали как отличное, от 0,05 до 0,1 – как хорошее, от 0,1 до 0,2 – как правильное (адекватное), а при стрессе более 0,3 искажение расстояния считали высоким [44].

Сравнение геоботанических описаний вариантов ассоциации *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris*, производили при помощи Analysis of similarities (ANOSIM [45]) с использованием меры расстояния Брея-Кертиса.

Глубину торфяной залежи определяли торфяным щупом ($n = 3$). Значения pH_{KCl} и зольность торфа на глубине 0,2 м определяли в Центральной лаборатории государственного предприятия «НПЦ по геологии» в соответствии с [46].

Статистическая обработка материала проведена в программах Microsoft Excel и PAST 4.07b [41].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе флористической классификации в результате обработки геоботанических описаний и сравнения их с известными синтаксономическими единицами сосновых лесов Беларуси [14, 16, 47] на территории заказника «Налибокский» нами выделено 7 типов лесных фитоценозов (см. табл. 1), сформированных при низкой эффективности осушительных систем. Аналогично, используя фитоценотическую классификацию и ТКП 587-2016, нами обосновано наличие семи мелиоративно-производных синтаксонов.

В зависимости от классификации данные синтаксоны имели различный ранг: от ассоциации с

субассоциациями до варианта (флористическая классификация), до групп ассоциации и типов леса по эколого-фитоценотической и лесохозяйственной классификации.

Анализ лесоустроительных данных показал, что сходные по ценотическим и экологическим характеристикам контура (выдел) таксаторы часто относят к разным типам леса (см. табл. 1). Сосняки сфагново-багульниковые в 80% таксировали как осоково-сфагновые (см. табл. 1). На наш взгляд, это связано с тем, что таксаторы путают пушицу (*Eriophorum vaginatum*) с осоками (*Carex* spp.), а также есть противоречия типоло-

гической классификации с бонитетами насаждений: согласно типологии И. Д. Юркевича, классу бонитета V^a соответствуют сосняки осоково-сфагновые (*Pinetum caricoso-sphagnosum*), а согласно ТКП 587-2016, этому бонитету соответствуют сосняки сфагновые (*P. sphagnosum*). Неточности в определении типа мелиоративно-производных лесов возникают регулярно из-за сложности в точном определении класса бонитета древостоя, а также в связи с часто встречающимся антропогенно-трансформированным живым напочвенным покровом. Согласно данным анализа экологических параметров синтаксонов, нами отмечены корреляционные связи кислотности и зольности ($r = 0,86$, $p = 0,014$) торфа при отсутствии связи с глубиной торфяной залежи (рис. 3). Увеличение мощности торфяной залежи ведет, после снижения дренирующего эффекта осушительных систем, к формированию типичных болотных сосняков: сосняков багульниковых и кустарничково-сфагновых – *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris*. Соответственно, хорошо сохранившаяся торфяная залежь с высокой кислотностью и невысокой зольностью торфа создает условия для устойчивых демутиационных процессов восстановления исходных растительных сообществ домелиоративного периода (см. табл. 1). Осушение значительно изменило и тип лесорастительных условий (вплоть до эдафотопы В), степень его изменчивости во многом зависит от глубины торфяной залежи и обводнения субстрата (см. табл. 1).

Далее приводится подробное описание синтаксонов.

1. Асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929 var. *typica* (см. рис. 3а). В соответствии с доминантной классификацией в белорусской типологии данные леса соответствуют соснякам багульниковым (*Pinetum ledosum*). В результате осушения эти сообщества изменяют фитоценотический облик. Лесоустройством такие леса чаще всего таксируются как сосняки осоково-сфагновые (*Pinetum cariceto-sphagnosum*), что не соответствует почвенно-гидрологическим условиям биотопа.

Диагностические виды (phi-коэффициент): *Andromeda polifolia* (56,6), *Calluna vulgaris* (42,2), *Eriophorum vaginatum* (40,6), *Ledum palustre* (35,4), *Oxycoccus palustris* (63,8), *Vaccinium uliginosum* (35,4), *Polytrichum strictum* (76,9), *Sphagnum angustifolium* (43,7), *Sphagnum magellanicum* (= *S. divinum* s.l.) (53,3) (табл. 2).

Константные виды: *Pinus sylvestris*, *Andromeda polifolia*, *Calluna vulgaris*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Oxycoccus palustris*, *Vaccini-*

um myrtillosum, *V. uliginosum*, *Dicranum polysetum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum angustifolium*, *S. divinum*.

Доминантные виды: *Pinus sylvestris*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Oxycoccus palustris*, *Vaccinium uliginosum*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum capillifolium*, *S. divinum* (см. табл. 2).

Наиболее часто встречающимися видами (класс константности V) для травяно-кустарничкового яруса являются *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillosum*, *V. vitis-idaea*, *Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus palustris*, *Calluna vulgaris*. Моховой ярус сложен из видов рода *Sphagnum*: *S. angustifolium*, *S. divinum*, также встречаются зеленые мхи: *Pleurozium schreberi* и *Dicranum polysetum* (см. табл. 2).

Согласно [16, 47], эти леса типичны для наиболее сухих частей верховых болот. Сообщества формируются на торфяных почвах со средней мощностью торфяной залежи 2,0 м. Средняя зольность торфа – 7,50%, а кислотность торфа составляет 2,63. Древесный ярус состоит из *Pinus sylvestris*, редко встречается *Betula pubescens*, *Picea abies*. Средняя высота древостоя в возрасте 130 лет составляет 10–12 м. Класс бонитета V^a–V.

Сравнение флористического состава (по обилию) данного синтаксона в Налибокской пушче с типичным вариантом данной ассоциации лесов Беловежской пушчи [16] показало высокий уровень их сходства ($p = 0,542$). Также отмечено сходство сообществ асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929 var. *typica* по экологическим режимам (в баллах, по Элленбергу): освещенность – 6,8 и 7,0, температура – 3,4 и 3,5, континентальность – 6,0 и 5,6, увлажнение – 6,9 и 6,9, кислотность – 1,9 и 1,8, богатство почв азотом – 2,4 и 2,0 балла в геоботанических описаниях Беловежской пушчи [15] и Налибокской пушчи соответственно.

2. Асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929 var. *Vaccinium myrtillosum*. Такие леса характеризуются высоким обилием *Vaccinium myrtillosum*, *Pleurozium schreberi* и *Dicranum polysetum* как результат осушения и, соответственно, снижения уровня грунтовых вод. Наблюдается естественное возобновление *Picea abies* (см. рис. 3б). Древостой 3-го класса бонитета.

Диагностические виды (phi-коэффициент): *Andromeda polifolia* (35,1), *Eriophorum vaginatum* (36,5), *Ledum palustre* (35,4), *Vaccinium uliginosum* (35,4), *Aulacomnium palustre* (30,2), *Dicranum scoparium* (47,1), *Sphagnum angustifolium* (35,3), *Sphagnum divinum* (31,0) (см. табл. 2).



Рис. 3. Фитоценотический облик производно-мелиоративных сосняков:

a – асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* вар. *typica*; *б* – асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* вар. *Vaccinium myrtillus*; *в* – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* вар. *Vaccinium uliginosum*; *г* – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* субасс. *Ledetosum palustris*; *д* – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* вар. *typica*; *е* – асс. *Carici remotae* – *Piceetum abietis* вар. *inops* фация *Pinus sylvestris*; *ж* – сообщество *Pinus sylvestris* – *Thelypteris palustris* – *Sphagnum centrale* [*Vaccinio* – *Piceetea*]

Fig. 3. Phytocoenotic appearance of drained pine forests:

a – асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* var. *typica*; *b* – асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* var. *Vaccinium myrtillus*; *c* – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* var. *Vaccinium uliginosum*; *d* – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* subass. *Ledetosum palustris*; *e* – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* var. *typica*; *f* – *Carici remotae* – *Piceetum abietis* var. *inops* facies *Pinus sylvestris*; *g* – community *Pinus sylvestris* – *Thelypteris palustris* – *Sphagnum centrale* [*Vaccinio* – *Piceetea*]

Таблица 2. Синоптическая таблица синтаксонов мелиоративно-производных сосняков заказника «Налибокский»

Table 2. Synoptic table of syntaxa of drained pine forests in the Naliboksky Reserve

Синтаксоны		1	2	3	4	5	6	7		Синтаксоны	h	1	2	3	4	5	6	7
Количество описаний	h	11	19	19	9	19	6	13		Geranium robertianum	D							I
Среднее число видов		12	17	18	21	18	21	25		Epilobium palustre	D							I
<i>Pinus sylvestris</i>	A	V	V	V	V	V	V	V		<i>Goodyera repens</i>	D				I			I
<i>Vaccinium myrtillus</i>	D	IV	V	V	V	V	V	V		<i>Viola palustris</i>	D						I	I
<i>Pleurozium schreberi</i>	E	V	V	V	V	V	V	V		<i>Carex lasiocarpa</i>	D							I
<i>Dicranum polysetum</i>	E	V	V	V	IV	IV	V	IV		<i>Agrostis canina</i>	D							I
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	D	III	V	V	IV	V	V	II		<i>Equisetum fluviatile</i>	D							I
<i>Oxycoccus palustris</i>	D	V	III	I	II			I		<i>Naumburgia thyrsoiflora</i>	D							I
<i>Polytrichum strictum</i>	E	V	II	I		I		II		<i>Paris quadrifolia</i>	D							I
<i>Andromeda polifolia</i>	D	V	V	II	II			II		<i>Ribes spicatum</i>	C							I
<i>Sphagnum divinum</i>	E	V	IV	III	III	II				<i>Betulla pubescens t3</i>	C	II	III	III	III	II	I	III
<i>Sphagnum angustifolium</i>	E	V	IV	III	III	II				<i>Calluna vulgaris</i>	D	IV	III	II	II	II		I
<i>Eriophorum vaginatum</i>	D	V	V	IV	II	I		II		<i>Betula pendula t1</i>	A			I	I	I		I
<i>Ledum palustre</i>	D	V	V	V	IV	II		II		<i>Betula pendula t2</i>	B	I	I	I	II	I	I	I
<i>Vaccinium uliginosum</i>	D	V	V	V	V	I		II		<i>Betula pendula t3</i>	C		I	I	II			
<i>Carex nigra</i>	D			I	IV		I	III		<i>Quercus robur t3</i>	C		II	II	III	III	II	I
<i>Sphagnum fallax</i>	E				III	I	I	I		<i>Quercus robur t2</i>	B		I	II	I	I	II	II
<i>Betula pubescens</i>	B	I	V	V	IV	III	II	III		<i>Salix cinerea</i>	C			I	II	I		II
<i>Molinia caerulea</i>	D		I	IV	IV	V	II	II		<i>Rubus saxatilis</i>	C					II	I	I
<i>Picea abies</i>	B	I	III	IV	V	V	V	V		<i>Rubus idaeus</i>	C		I	I	II	I	II	III
<i>Frangula alnus</i>	C	I	II	III	IV	V	V	V		<i>Rubus caesius</i>	C			I	I	I		I
<i>Picea abies</i>	C		II	II	IV	IV	IV	IV		<i>Corylus avellana</i>	C			I			II	I
<i>Hylocomium splendens</i>	E		IV	III	III	IV	V	III		<i>Juniperus communis</i>	C					I		I
<i>Sorbus aucuparia</i>	C		I	III	III	IV	V	II		<i>Melampyrum pratense</i>	D		II	II		II	II	I
<i>Picea abies</i>	A		I	III	I	III	V	II		<i>Dryopteris dilatata</i>	D							I
<i>Oxalis acetosella</i>	D			I	I	I	IV	IV		<i>Luzula pilosa</i>	D					I	I	I
<i>Sphagnum centrale</i>	E				I		IV	IV		<i>Maianthemum bifolium</i>	D			I	I	II	IV	II
<i>Lycopodium annotinum</i>	D			II	III	I	IV	IV		<i>Stellaria media</i>	D					I		I
<i>Dryopteris carthusiana</i>	D		I	IV	III	IV	III	V		<i>Urtica dioica</i>	D					I		I
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	E			I	I	III	IV	II		<i>Mycelis muralis</i>	D					I		
<i>Circaea alpina</i>	D						IV	III		<i>Calamagrostis canescens</i>	D					I		II
<i>Populus tremula</i>	C				I	I	IV	I		<i>Moehringia trinervia</i>	D		I					II
<i>Phragmites australis</i>	D			I	II	I		IV		<i>Epilobium angustifolium</i>	D			I				I
<i>Pinus sylvestris</i>	C	III	III	I	II			I		<i>Pteridium aquilinum</i>	D			I	II	I	III	I
<i>Betulla pubescens</i>	A		II	II	III	III	III	II		<i>Carex canescens</i>	D				I			
<i>Trientalis europaea</i>	D			II	III	III	II	III		<i>Polytrichum commune</i>	E		I	III	III	II	II	III
<i>Alnus glutinosa</i>	C				I		III	II		<i>Aulacomnium palustre</i>	E	II	III	I	II	II		I
<i>Lysimachia vulgaris</i>	D					I	I	III		<i>Ptilium crista-castrensis</i>	E		I	I		II		I
<i>Pinus sylvestris</i>	B	I						I		<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i>	E						I	I
<i>Carex chordorrhiza</i>	D							I		<p><i>Примечания.</i> Серая заливка отражает характерные виды h – ярусы: А – первый древесный (господствующий), В – второй древесный, С – кустарниковый, D – травяно-кустарничковый, E – моховой. I–V – классы константности (встречаемости, постоянства): I – вид присутствует, менее чем в 20% описаний, II – 21–40%, III – 41–60%, IV – 61–80%; V – в более 80% описаний. Названия синтаксонов см. в табл. 1 и на рис. 3. 1 – асс. <i>V.u-P.s.</i> вар. <i>typica</i>; 2 – асс. <i>V.u-P.s.</i> вар. <i>Vaccinium myrtillus</i>; 3 – асс. <i>M.c.-P.s.</i> вар. <i>Vaccinium uliginosum</i>; 4 – асс. <i>M.c.-P.s.</i> субасс. <i>Ledetosum palustris</i>; 5 – асс. <i>M.c.-P.s.</i> вар. <i>typica</i>; 6 – асс. <i>C.r.-P.a.</i> вар. <i>inops</i> фашия <i>Pinus sylvestris</i>; 7 – сообщество <i>Pinus sylvestris</i> – <i>Thelypteris palustris</i> – <i>Sphagnum centrale</i> [<i>Vaccinio</i> – <i>Piceetea</i>] В таблицу включены виды, которые встречаются не менее чем в трех ассоциациях либо имеют принципиальное значение при классификации сообществ.</p>								
<i>Carex rostrata</i>	D							I										
<i>Calla palustris</i>	D							I										
<i>Comarum palustre</i>	D							I										
<i>Deschampsia cespitosa</i>	D							I										
<i>Menyanthes trifoliata</i>	D				I			I										
<i>Peucedanum palustre</i>	D							I										
<i>Galium palustre</i>	D							II										
<i>Athyrium filix-femina</i>	D						I	I										
<i>Solidago virgaurea</i>	D							I										
<i>Juncus effusus</i>	D							II										
<i>Thelypteris palustris</i>	D							II										
<i>Lythrum salicaria</i>	D							I										
<i>Lycopus europaeus</i>	D							I										
<i>Cirsium oleraceum</i>	D							I										
<i>Carex elongata</i>	D							I										
<i>Galium palustre</i>	D							I										
<i>Impatiens noli-tangere</i>	D							I										
<i>Galeobdolon luteum</i>	D							I										
<i>Aegopodium podagraria</i>	D							I										
<i>Carex echinata</i>	D							I										

Константные виды: *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Picea abies*, *Andromeda polifolia*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Aulacomnium palustre*, *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum angustifolium*, *S. divinum*.

Доминантные виды: *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Frangula alnus*, *Andromeda polifolia*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum*, *Dicranum polysetum*, *Dicranum scoparium*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum fallax*.

Наиболее часто встречаются виды: *Vaccinium myrtillus*, *Pleurozium schreberi*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Hylocomium splendens*, *Calluna vulgaris*. Среди них доминируют виды: *Pleurozium schreberi*, *Pinus sylvestris*, *Vaccinium myrtillus*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*.

В данной работе мы предлагаем новый вариант *Vaccinium uliginosum* асс. *Molinia caerulea* – *Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973 (см. табл. 1, 2), который отличается от типичных биотопов асс. наличием торфяной залежи (в среднем 0,7 м) с меньшим постоянством видов *Andromeda polifolia* (II класс), *Sphagnum divinum* (*S. divinum* s.l.) (III), *Sphagnum angustifolium* (III), *Eriophorum vaginatum* (II) и, наоборот, большим постоянством *Picea abies* в первом древесном ярусе (III) и подросте (IV), а также *Molinia caerulea* (IV) в живом напочвенном покрове. Фитоценогенетически этот вариант связан с ассоциацией *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929, сообщества которой формируются на окраинах верховых болот с неглубокой торфяной залежью и корни деревьев в которой, в результате осушения, начали достигать минерального субстрата, что положительно сказывается на продуктивности данных лесов. Название варианта *Vaccinium uliginosum* отражает связь с ассоциацией *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929. Такой вариант ассоциации соответствует сосняку черничному лесохозяйственной классификации и молиниевое-сфагново-черничному сосняку фитоценотической классификации (см. табл. 1).

Сообщества сформированы на органических почвах со средней глубиной торфа 1,2 м. Зольность торфа составляет 6,22%, а кислотность – 2,72 (см. табл. 1).

Сравнение флористического состава данного варианта ассоциации с аналогичными лесами Беловежской пуци [16] также показало отсутствие достоверных различий ($p = 0,3308$). В сообществах данного синтаксона в обеих пуцах в живом

напочвенном покрове доминирует *Vaccinium myrtillus* (V класс постоянства с обилием 3–4 балла по шкале Браун-Бланке). Также отмечено сходство фитоценозов по экологическим режимам (по Элленбергу): освещенность – 6,6 и 6,5, температура – 3,3 и 3,6, континентальность – 6,0 и 5,6, увлажнение – 6,6 и 6,5, кислотность – 1,9 и 2,3, богатство почв азотом – 2,5 и 2,3 балла в описаниях Беловежской пуци [15] и Налибокской пуци, соответственно.

3. Асс. *Molinia caerulea* – *Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973, вар. *Vaccinium uliginosum*.

Диагностические виды (phi-коэффициент): *Molinia caerulea* (29,5), *Picea abies* (28,4), *Dryopteris cristata* (30,3), *Betula pubescens* (25,4) (см. табл. 2).

Константные виды (обилие, %): *Pinus sylvestris* (100), *Betula pubescens* (63), *Frangula alnus* (58), *Picea abies* (58), *Dryopteris carthusiana* (68), *Eriophorum vaginatum* (68), *Ledum palustre* (89), *Molinia caerulea* (68), *Vaccinium myrtillus* (100), *Vaccinium uliginosum* (84), *Vaccinium vitis-idaea* (79), *Dicranum polysetum* (84), *Hylocomium splendens* (58), *Pleurozium schreberi* (95).

Доминантные виды: *Pinus sylvestris*, *Frangula alnus*, *Dryopteris carthusiana*, *Ledum palustre*, *Molinia caerulea*, *Vaccinium myrtillus*, *Dicranum polysetum*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum angustifolium*, *Sphagnum divinum*.

Леса по физиономическому облику и видовому составу схожи с асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* de Kleist 1929 вар. *Vaccinium myrtillus*, с заметно большим обилием *Picea abies* в древесном ярусе, а также большей продуктивностью насаждений (см. рис. 3в).

Заметно чаще (IV класс постоянства) встречается *Molinia caerulea* со средним обилием 8%. Такие леса формируются по периферии верховых болот с неглубоким залеганием торфяной залежи до 0,7 м.

Генетически они связаны с сосняками багульниковыми, но в результате осушения приобрели облик сосняков черничных, несмотря на наличие торфяной залежи около 0,7 м.

4. Асс. *Molinia caerulea* – *Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973, субасс. *Ledetosum palustris* Bulokhov in Tsvirko et Semenishchenkov 2014.

Диагностические виды: *Vaccinium uliginosum*, *Ledum palustre*, *Molinia caerulea*, *Picea abies*, *Carex nigra*, *Sphagnum fallax*.

Константные виды: *Pinus sylvestris*; *Picea abies*; *Betula pubescens*, *Picea abies*; *Frangula alnus*, *Carex nigra*, *Dryopteris carthusiana*, *Ledum palustre*, *Molinia caerulea*.

Доминантные виды: *Pinus sylvestris*; *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum*; *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum juniperinum*, *Sphagnum fallax*.

Леса с высоким обилием болотных видов растений (*Carex nigra*, *Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*). В заказнике встречаются чаще всего в локальных понижениях. Также характеризуются высоким обилием *Sphagnum fallax* (проективное покрытие до 80%). Отмечается присутствие ольхи чёрной (*Alnus glutinosa*) (см. рис. 3г).

5. Асс. ***Molinio caeruleae – Pinetum sylvestris*** W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973, var. ***typica***.

Диагностические виды (phi-коэффициент): *Molinia caerulea* (35,0) (см. табл. 2).

Константные виды: *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia*, *Dryopteris carthusiana*, *Molinia caerulea*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum girgensohnii*.

Доминантные виды: *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Frangula alnus*, *Picea abies*, *Molinia caerulea*, *Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum girgensohnii*.

Сообщества данного синтаксона выявлены на минеральных, изредка слегка оторфованных почвах (глубиной до 0,2 м). Древесный ярус состоит в основном из *Pinus sylvestris*, часто встречается *Picea abies* (III класс постоянства), реже *Betula pendula*. Иногда встречается *Populus tremula*, *Alnus glutinosa*. Подрост состоит из *Picea abies*, *Quercus robur*, *Alnus glutinosa*. В подлеске встречаются виды *Frangula alnus* и *Sorbus aucuparia*. Обычными видами травяно-кустарникового яруса являются *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*. Моховой ярус состоит в основном из *Pleurozium schreberi* и *Dicranum polysetum* (см. табл. 2; рис. 3д).

6. Асс. ***Carici remotae – Piceetum abietis*** Semenishchenkov 2014 var. ***inops*** фация ***Pinus sylvestris***.

Диагностические виды (phi-коэффициент): *Alnus glutinosa* (46,7), *Picea abies* (54,8), *Populus tremula* (63,7), *Corylus avellana* (38,3), *Sorbus aucuparia* (39,5), *Maianthemum bifolium* (45,0), *Pteridium aquilinum* (36,9), *Plagiomnium affine* (38,3), *Sphagnum centrale* (38,3) (см. табл. 2).

Константные виды: *Betula pubescens*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Frangula alnus*, *Picea abies*, *Quercus robur*, *Sorbus aucuparia*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-*

idaea, *Dicranum polysetum*, *Oxalis acetosella*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*.

Доминантные виды: *Betula pubescens*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Vaccinium myrtillus*, *Pleurozium schreberi*.

Леса данного синтаксона произрастают на торфяных почвах глубиной до 1 м. В заказнике характерны для долины р. Исlochь.

Древесный ярус состоит из *Pinus sylvestris*, *Picea abies* и *Alnus glutinosa*. В подлеске чаще всего встречаются *Corylus avellana* и *Sorbus aucuparia*. В травяном ярусе обычны: *Oxalis acetosella*, *Lycopodium annotinum*, *Dryopteris carthusiana*, *Circaea alpina*, которые формируют живой напочвенный покров. Среди других видов мхов наиболее распространённым является *Sphagnum centrale* (IV класс постоянства). Также часто встречаются мхи *Calliergonella cuspidata*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Plagiomnium affine* в данных лесорастительных условиях (см. табл. 2, рис. 3е).

Решение отнести данную ассоциацию к варианту *inops* продиктовано тем, что из-за сильной трансформации растительности в результате осушения не было отмечено присутствие *Carex remota*.

7. Сообщество ***Pinus sylvestris – Thelypteris palustris – Sphagnum centrale*** [*Vaccinio – Piceetea*].

Диагностические виды (phi-коэффициент): *Alnus glutinosa* (40,0), *Rubus idaeus* (36,8), *Salix aurita* (40,0), *Calamagrostis canescens* (33,7), *Carex elongata* (57,3), *Carex lasiocarpa* (40,0), *Carex nigra* (33,7), *Circaea alpina* (57,1), *Comarum palustre* (40,0), *Dryopteris carthusiana* (40,6), *Lycopodium annotinum* (40,0), *Thelypteris palustris* (62,3); *Sphagnum centrale* (41,6) (см. табл. 2).

Константные виды: *Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Frangula alnus*, *Picea abies*, *Rubus idaeus*, *Carex nigra*, *Circaea alpina*, *Dryopteris carthusiana*, *Galium palustre*, *Lycopodium annotinum*, *Lysimachia vulgaris*, *Oxalis acetosella*, *Phragmites australis*, *Thelypteris palustris*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Dicranum polysetum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *Sphagnum centrale*.

Доминантные виды: *Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Frangula alnus*, *Dryopteris carthusiana*, *Lycopodium annotinum*, *Vaccinium myrtillus*.

Характерными видами для этих условий являются *Phragmites australis*, *Oxalis acetosella*, *Circaea alpina*, *Lysimachia vulgaris*, *Carex elongata*, *Athyrium felix-femina*, *Dryopteris carthusiana*, *Lycopodium annotinum*. В моховом ярусе наиболее распространён *Sphagnum centrale*.

По флористическому составу данные леса схожи с сосняками приручейно-травяными (см. табл.

1 и 2), но отличаются от них наличием торфяной залежи. Такие леса лесостроительством затаксированы как долгомошные в 8 из 10 описаний.

Таким образом, все семь описанных синтаксонов мелиоративно-производных лесов являются или близкими ассоциациями, субассоциацией, вариантами или фацией одной ассоциации, что свидетельствует о разной степени трансформации растительности в результате осушения и, соответственно, различной скорости демутации.

Практически все выявленные в заказнике синтаксоны уже описаны на территории Беларуси [16, 47].

Описанные синтаксоны мелиоративно-производных сосняков имеют небольшие различия по основным экологическим показателям, оцененным по шкалам Элленберга [40]: освещенности, влажности, кислотности и богатству почв азотом и пр. (табл. 3). В дифференциации синтаксонов значение имеет глубина торфяной залежи (см. табл. 1) и степень ее увлажнения (см. табл. 3) на фоне дренажа (проточности). Основной градиент изменчивости сообществ находится на векторе трофности и увлажнения субстрата. Сообщества асс. *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* var. *typica* занимают наиболее обводненные болотные биотопы – с глубокой торфяной залежью, высокой кислотностью почв и менее богатыми условиями (см. табл. 1 и 3). В относительно более богатых условиях формируются сообщества *Carrici remotae – Piceetum abietis* и сосняки приручейно-травяные: различия по уровню содержания азота между 1-м (*Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* var. *typica*) и 7-м (*Pinus sylvestris – Thelypteris palustris – Sphagnum centrale*) синтаксонами примерно 2-кратны (см. табл. 3).

Фитоиндикация синтаксонов обозначила общий тренд изменчивости экологических режи-

мов от олиготрофных к мезотрофным условиям (см. табл. 3): увеличение содержания азота и повышение pH от *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* к *Pinus sylvestris – Thelypteris palustris – Sphagnum centrale*. Синтаксон 5 (типичный вариант асс. *Molinio caeruleae – Pinetum sylvestris*) несколько отличается от синтаксонов 3 и 4, которые являются вариантом и субассоциацией данной ассоциации: его биотопы относительно менее увлажненные, кислые и освещенные при незначительно более высоком содержании азота (см. табл. 3).

В целом, по данным фитоиндикации, изученные леса относятся к светлым и осветленным лесам, расположенным на кислых почвах от влажных до сырых. Главным из элементарных факторов, вносящим свой вклад в различия биотопов, изученных синтаксонов, является содержание азота в почве (см. табл. 3).

Ординация геоботанических описаний подтвердила экологическую корректность выделенных синтаксонов и выявила доминирующий градиент, вдоль которого наблюдается наибольшая изменчивость растительных сообществ по флористическому составу (рис. 4). Коэффициент детерминации (R^2) первой оси 0,6, второй – 0,2. Первая ось значимо коррелирует с почвенно-грунтовыми параметрами (табл. 4). Таким образом, главным градиентом в данной совокупности, очевидно, является фактор дренированности субстрата, который оценивается по глубине торфяной залежи, плодородию почв (увлажнение, кислотность, азот), а также связанному с ними фактору освещенности (см. рис. 4). Фитоиндикационные показатели указывают на более сильную связь с первой осью, чем инструментальные (см. табл. 4), что подтверждает мысль Л. Г. Раменского: «Естественная растительность и почва в

Таблица 3. Значения параметров экологических режимов мелиоративно-производных сосняков (баллы по [40])

Table 3. Values of ecological regimes of biotopes of drained pine forests (scores according to [40])

№ синтаксона*	L	T	C	M	SR	N
1	7,0 ± 0,05	3,5 ± 0,04	5,6 ± 0,04	6,9 ± 0,08	1,8 ± 0,04	2,0 ± 0,05
2	6,5 ± 0,06	3,6 ± 0,09	5,6 ± 0,03	6,5 ± 0,06	2,3 ± 0,08	2,3 ± 0,08
3	6,1 ± 0,07	3,7 ± 0,07	5,4 ± 0,05	6,3 ± 0,12	2,8 ± 0,07	2,9 ± 0,09
4	6,1 ± 0,08	3,7 ± 0,1	5,3 ± 0,05	6,5 ± 0,13	2,9 ± 0,09	2,8 ± 0,10
5	5,8 ± 0,05	3,6 ± 0,07	5,4 ± 0,04	5,5 ± 0,08	3,3 ± 0,08	3,3 ± 0,13
6	5,5 ± 0,14	3,9 ± 0,08	5,1 ± 0,09	5,7 ± 0,15	3,4 ± 0,10	3,5 ± 0,23
7	5,7 ± 0,17	4,2 ± 0,10	4,8 ± 0,08	6,5 ± 0,22	3,9 ± 0,18	4,1 ± 0,21

* Названия синтаксонов см. в табл. 1.

Примечание:

$X \pm m$, где X – среднее арифметическое, m – ошибка среднего арифметического.

L – освещенность; T – температура; C – континентальность; M – увлажнение;

SR – кислотность почвы; N – богатство почвы азотом, баллы [40].

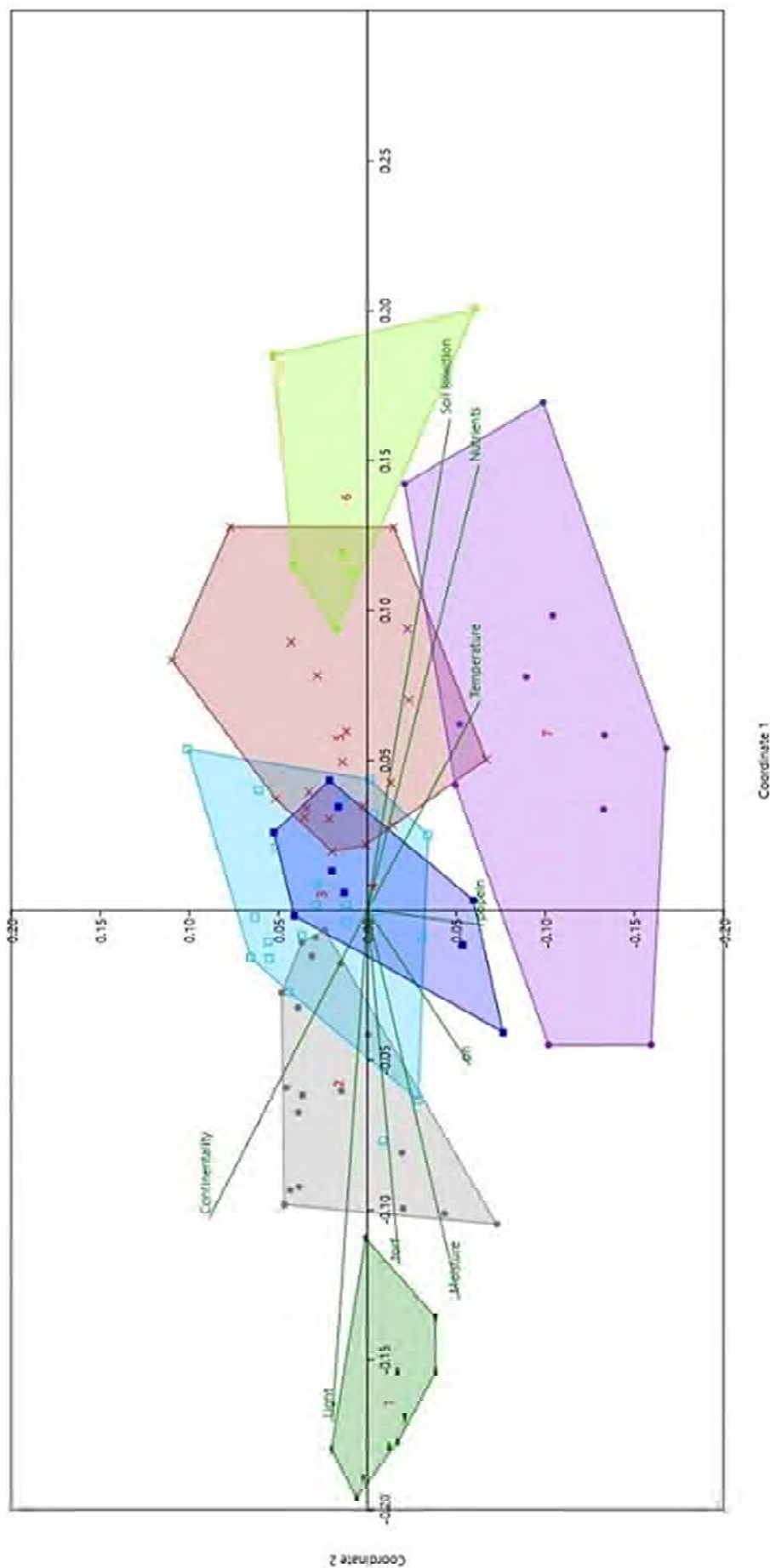


Рис. 4. N-MDS-ординация мелиоративно-производных синтаксонов заказника «Налибокский» (стресс = 0,175): Coordinate 1, Coordinate 2 – 1 и 2 оси ординации NMDS;

1 – асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* var. *typica*; 2 – асс. *Vaccinium myrtillus*; 3 – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* var. *Vaccinium myrtillus*; 4 – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* subасс. *Ledetosum palustris*; 5 – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* var. *typica*; 6 – асс. *Carici remotae* – *Piceetum abietis* фация *Pinus sylvestris*; 7 – сообщество *Pinus sylvestris* – *Thelypteris palustris* – *Sphagnum centrale* [*Vaccinio* – *Piceetea*]

Fig. 4. NMDS-ordination of drained syntaxa of the Naliboksky Reserve (stress = 0.175); Coordinate 1, Coordinate 2 – NMDS ordination axes;

1 – асс. *Vaccinio uliginosi* – *Pinetum sylvestris* var. *typica*; 2 – асс. *Vaccinium myrtillus*; 3 – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* var. *Vaccinium myrtillus*; 4 – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* subасс. *Ledetosum palustris*; 5 – асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* var. *typica*; 6 – асс. *Carici remotae* – *Piceetum abietis* facies *Pinus sylvestris*; 7 – community *Pinus sylvestris* – *Thelypteris palustris* – *Sphagnum centrale* [*Vaccinio* – *Piceetea*]

Таблица 4. Коэффициенты корреляции ординационных осей NMDS-ординации с экологическими факторами

Table 4. Correlation coefficients of NMDS ordination axes with environmental factors

Факторы	Ось 1	Ось 2
M – увлажнение (по Г. Элленбергу)	–0,666	–0,264
N – содержание азота (по Г. Элленбергу)	0,763	–0,321
R – кислотность (по Г. Элленбергу)	0,844	–0,238
L – освещенность (по Г. Элленбергу)	–0,879	0,102
Глубина торфа	–0,608	–0,092
pH _{KCl} – кислотность	–0,266	–0,296
Z – зольность	–0,026	–0,338

своих признаках подытоживают местные условия за более или менее длинный ряд лет» [49] и потому «единственным прямым и достоверным оценщиком экологических условий является сама растительность» [50].

Наибольшим сходством по экологическим характеристикам обладают *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* вар. *Vaccinium uliginosum* и *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* субасс. *Ledetosum palustris* (см. рис. 4), что логично объяснимо принадлежностью данных синтаксонов к одной ассоциации.

Явное доминирование одного градиента в изменчивости видового состава растительных сообществ указывает на одновекторный демулационный процесс формирования фитоценозов на фоне затухания дренирующего эффекта осушительной сети. Особняком в ординации (см. рис. 4) расположены сообщества сосняка приручейно-травяного (сосняка болотно-травяного на торфе), которые, по сути, повторяют ряд экологической изменчивости сосняков от молиниевочерничных до молиниеводолгомошных, но в более проточном режиме и, соответственно, с более высоким плодородием почв (см. табл. 1, рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изучении синтаксономического разнообразия мелиоративно-производных сосняков низкоэффективных осушительных систем заказника «Налибокский» (Беларусь) нами было выявлено 7 различных типов сообществ, типизация которых выполнена с помощью флористической и фитоценологической классификаций.

Предложен вариант *Vaccinium uliginosum* асс. *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* W. Matuszkiewicz et J. Matuszkiewicz 1973. Для данного варианта характерно наличие торфяной залежи (0,7 м) с большим постоянством *Picea abies* в древостое (III) и подросте (IV) и *Molinia caerulea* (IV) в живом напочвенном покрове. Данный вариант ассоциации соответствует сосняку черничному согласно лесной типологии и молиниевосфагново-черничному сосняку фитоценологической классификации.

Изученные леса относятся к светлым и осветленным лесам, расположенным на кислых почвах от влажных до сырых. Главными экологическими градиентами, вдоль которых отмечена наибольшая изменчивость и дифференциация мелиоративно-производных синтаксонов Налибокской пуши в болотных лесах, являются кислотность и богатство почвы, а в экотонных лесах – увлажнение и, также, богатство почвы. Наибольшим сходством по экологическим характеристикам обладают синтаксоны одной ассоциации.

В дальнейшем, если не проводить мероприятия по реконструкции осушительной сети, будут наблюдаться процессы естественного восстановления нарушенных болотных экосистем, что актуально в условиях особо охраняемой природной территории (заказника).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сарма, П. Э. Применение лесной типологии при осушении лесов / П. Э. Сарма // Вопросы применения лесной типологии в лесном хозяйстве: тр. Ин-та лесохоз. проблем. – Рига, 1955. – Вып. IX. – С. 83–93.
2. Смоляк, Л. П. Влияние мелиорации на травяно-моховую растительность верховых болот / Л. П. Смоляк, Н. К. Кудряшева // Ботаника (исследования). – Минск, 1965. – Вып. 7. – С. 173–180.
3. Нешатаев, Ю. Н. О некоторых задачах и методах классификации растительности / Ю. Н. Нешатаев // Растительность России. – 2001. – № 1. – С. 57–61.
4. Денисенков, В. П. Основы болотоведения: учеб. пособие / В. П. Денисенков. – СПб.: СПбГУ, 2000. – 224 с.
5. Федорчук, В. Н. Лесные экосистемы северо-западных районов России. Типология, динамика, хозяйственные

особенности / В. Н. Федорчук, В. Ю. Нешатаев, М. Л. Кузнецова. – СПб: СПбНИИЛХ, 2005. – 382 с.

6. Буш, К. К. О перспективах изучения осушенных лесов / К. К. Буш // Гидролесомелиоративные исследования. – Рига, 1970. – С. 101–116.

7. Каразия, С. П. Типологическая характеристика осушенных лесов / С. П. Каразия, Т. К. Капустинская // Вопросы лесной типологии и биогеоценологии в Южной Прибалтике. – Каунас, 1977. – С. 107–120.

8. Каразия, С. П. История разработки типологической классификации лесов Литвы и современное состояние / С. П. Каразия // Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация и районирование лесной растительности: материалы Междунар. науч. семинара, Минск – Нарочь, 20–21 окт. 2016 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича; ред. А. В. Пугачевский [и др.]. – Минск, 2016. – С. 5–13.

9. Маховик, И. В. Разработка подхода к динамической классификации антропогенно-производных лесов / И. В. Маховик, И. В. Бордок // Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация и районирование лесной растительности: материалы Междунар. науч. семинара, Минск – Нарочь, 20–21 окт. 2016 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича; ред. А. В. Пугачевский [и др.]. – Минск, 2016. – С. 189–196.

10. Красильников, Н. А. Типы леса на осушенных торфяных почвах северной Беларуси / Н. А. Красильников, В. Ю. Нешатаев // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. – М.: ГЕОС, 1999. – С. 266–268.

11. Цвирко, Р. В. Антропогенно-производные сосновые леса Беларуси: актуальные вопросы типизации / Р. В. Цвирко [и др.] // Лесная типология: современные методы выделения типов леса, классификация и районирование лесной растительности: материалы Междунар. науч. семинара, Минск – Нарочь, 20–21 окт. 2016 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси; ред. А. В. Пугачевский [и др.]. – Минск: Колорград, 2016. – С. 171–188.

12. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Правила выделения типов леса: ТКП 587-2016 (33090) – ИУ ТНПА № 9-2016.

13. Нешатаев, В. Ю. Динамический подход к классификации лесной растительности / Ю. Н. Нешатаев // Актуальные проблемы геоботаники: материалы III Всерос. школы-конф., Петрозаводск, 24–27 сент. 2007 г. / Кольский науч. центр Рос. акад. наук. – Петрозаводск, 2007. – № 1. – С. 270–280.

14. Груммо, Д. Г. Ассоциации сосняков на верховых болотах северной Беларуси / Д. Г. Груммо [и др.] // Ботаника (исследования). – Минск, 2008. – Вып. 35. – С. 139–158.

15. Цвирко, Р. В. Разнообразие сообществ ассоциации *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* de Kleist 1929 на территории Национального парка «Беловежская пуца» / Р. В. Цвирко // Ботаника (исследования). – Минск, 2022. – Вып. 51. – С. 129–135.

16. Цвирко, Р. В. Синтаксономическое разнообразие лесной растительности национального парка «Беловежская пуца» (Беларусь) / Р. В. Цвирко, Д. Г. Груммо // Разнообразие растительного мира. – 2020. – № 1 (4). – С. 57–80.

17. Тэртыгорыі, важныя для птушак у Беларусі / пад агул. рэд. С. В. Левага. – Мінск: Рыфтур Прынт, 2015. – 150 с.

18. Юркевич, И. Д. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии / И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1965. – 288 с.

19. Комар, А. Ю. Сучасны стан экасістэмаў часткі заказніка «Налібоцкі» пад уздзеяннем асушальнай меліярацыі / А. Ю. Комар, С. С. Цярэшчанка // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. – № 2 (235). – С. 39–43.

20. Судник, А. В. О стратегии и схеме устойчивого использования земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде Республики Беларусь / А. В. Судник [и др.]. – Природные ресурсы. – 2022. – № 2. – С. 75–86.

21. Якимов, Н. И. Состояние и проблемы мелиорации лесов в Республике Беларусь / Н. И. Якимов // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 2–3 дек. 2014 г. / Вологод. гос. ун-т [и др.]; отв. ред. Р. В. Дерягин. – Вологда, 2015. – С. 13–15.

22. Эколого-фитоценологические исследования лесной растительности Налибокской пуцы / А. В. Бойко [и др.]; науч. ред. Л. П. Смоляк. – Минск: Наука и техника, 1983. – 206 с.

23. Проект организации и развития лесного хозяйства ГЛХУ «Воложинский лесхоз» Минского ГПЛХО на 2021–2030 гг. / РУП «Белгослес», 1-я Минская лесоустроительная экспедиция. – Минск, 2021. – Т. 1: Пояснительная записка. – 365 с.

24. Вознячук, Л. М. Изучение четвертичных отложений и рельефа / Л. М. Вознячук, В. Г. Степанова // История геологических наук в Белорусской ССР. – Минск, 1978. – С. 19–52.

25. Геоморфология Беларуси / О. Ф. Якушко [и др.]. – Минск: БГУ, 1999. – 173 с.

26. Мацвееў, А. В. Пра рэльеф Беларусі / А. В. Мацвееў, В. П. Якушка. – Мінск: Нар. асвета, 1994. – 72 с.

27. Ипатов, В. С. Описание фитоценоза: метод. рекомендации / В. С. Ипатов, Д. М. Мирин. – СПб, 2008. – 71 с.

28. Методы изучения лесных сообществ / под ред. В. Т. Ярмишко, И. В. Лянгузова. – СПб: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.

29. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet. – 3. Aufl. – Wien; N.-Y., 1964. – 865 s.

30. Булохов, А. Д. Практикум по классификации и ординации растительности: учеб. пособие / А. Д. Булохов, Ю. А. Семенищенков; Брян. гос. ун-т им. акад. И. Г. Петровского. – Брянск: РИО БГУ, 2009. – 118 с.

31. Hill, M. O. Twinspan: a Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes / M. O. Hill. – Ithaca: Cornell Univ., 1979. – 90 p.

32. Tichy, L. JUICE program for management, analysis and classification of ecological data: progr. manual [Electronic resource] / L. Tichy, J. Holt. – Brno, 2006. – Mode of access: www.sci.muni.cz/botany/juice/JUICEman_all.pdf. – Date of access: 20.01.2023.
33. Мойсейчик, Е. В. Флористическая классификация растительности: методические приемы обработки в программе JUICE / Е. В. Мойсейчик // Ботаника (исследования). – Минск, 2013. – Вып. 42. – С. 232–242.
34. Chytry, M. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures / M. Chytry [et al.] // Journal of Vegetation Science. – 2022. – Vol. 13, issue 1. – P. 79–90.
35. Голуб, В. Б. Оценка динамики растительности в дельте Волги / В. Б. Голуб [и др.] // Аридные экосистемы. – 2013. – Т. 19, № 3 (56). – С. 58–68.
36. Алёхин, В. В. Основные понятия и основные единицы фитоценологии / В. В. Алёхин [и др.] // Сов. ботаника. – 1935. – № 5. – С. 21–34.
37. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – СПб: Мир и семья–95, 1995. – 990 с.
38. Юркевич, И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах / И. Д. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1980. – 120 с.
39. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1982. – 326 с.
40. Ellenberg, H. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa / H. Ellenberg. – 2. verb. u. erw. Aufl. – Gottingen: Erich Goltze, 1992. – 258 s.
41. Hammer, O. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis / O. Hammer, D. A. T. Harper, P. D. Ryan // Palaeontologia Electronica. – 2001. – No. 4. – P. 3–9.
42. Сушко, Г. Г. Методы многомерного анализа данных в синэкологии насекомых / Г. Г. Сушко // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. – 2020. – № 1. – С. 38–45.
43. Сушко, Г. Г. Программное обеспечение PAST – как инструмент анализа данных в фаунистических исследованиях / Г. Г. Сушко // Изв. Гомель. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Сер. Естественные науки. – 2021. – № 3 (126). – С. 55–61.
44. Новаковский, А. Методы ординации в современной геоботанике / А. Новаковский // Вест. Ин-та биологии Коми науч. центра Урал. отделения Рос. акад. наук. – 2008. – № 10 (132). – С. 2–8.
45. Флуктуации эколого-ценотических характеристик растительности луговой катены (Карельский перешеек) / О. В. Созинов [и др.] // Ботанический журнал. – 2022. – Т. 107, № 11. – С. 1067–1082.
46. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности: ГОСТ 11623-89. – Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 5 с.
47. Флора и растительность верховых болот Беларуси / Н. А. Зеленкевич [и др.]; под ред. А. В. Пугачевского; Ин-т эксперим. ботаники. – Минск: СтройМедиаПроект, 2016. – 244 с.
48. Цвирко, Р. В. Геоботаническая характеристика сосновых лесов на болотах богатого минерального питания / Р. В. Цвирко // Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны: материалы II Междунар. науч.-практ. семинара, Минск, 24–25 сент. 2015 г. / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси; редкол.: А. В. Пугачевский [и др.]. – Минск, 2015. – С. 121–124.
49. Раменский, Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 620 с.
50. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский [и др.]. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 471 с.

Поступила в редакцию 10.03.2023 г.

УДК 582.782:581.552:57.055

Е. В. СПИРИДОВИЧ¹, А. Б. ВЛАСОВА^{1,4}, Е. Д. АГАБАЛАЕВА¹,
 Д. В. ДУБОВИК², А. Н. СКУРАТОВИЧ², Д. МИЛЛЕР³, М. КОСТ⁴,
 Ю. К. ВИНОГРАДОВА⁵, В. Н. РЕШЕТНИКОВ¹

ВЛИЯНИЕ ЖОСТЕРА СЛАБИТЕЛЬНОГО (*RHAMNUS CATHARTICA* L.) НА ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРУ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В БЕЛАРУСИ И В РЕГИОНАХ СРЕДНЕГО ЗАПАДА США

¹Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
 e-mail: a.spirydovich@gmail.com

²Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
 Минск, Беларусь

³Ландшафтный Арборетум Университета Миннесоты, Часка, США

⁴Меттай Ботанический Сад Николз Арборетум, Университет Мичигана, Анн-Арбор, США;

⁵Главный ботанический сад имени Н. В. Цицина Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. Кратко описана история преднамеренной интродукции жостера слабительного (*Rhamnus cathartica* L.) в регионы Среднего Запада США. Изучен видовой состав и структура растительных сообществ, в которых произрастает *Rhamnus cathartica* – аборигенный для Беларуси и инвазионный в США вид. Проведено сравнение изучаемых параметров (полное флористическое описание пробных площадок, полевой перечень растений жостера, средняя высота, проективное покрытие сопутствующих видов) на трех пробных площадках на территории Беларуси и трех площадках на Среднем Западе США. Полученные данные подтвердили гипотезу повышения конкурентоспособности чужеродных видов во вторичном ареале (ЕИСА). В американских популяциях, по сравнению с белорусскими, *Rhamnus cathartica* имеет более крупные размеры, более высокую семенную продуктивность, более высокую численность ювенильных особей и общую численность особей в популяциях вплоть до формирования монодоминантных зарослей. Внедрение жостера в естественные сообщества США снижает число видов травяного яруса в 8 раз. В качестве мер борьбы Арборетум Миннесоты начал облесение участков, на которые вторгся жостер, удаление на них малолетних особей (возраст от 1 года до 5 лет), подсаживание местных древесных пород.

Ключевые слова: *Rhamnus cathartica* L., инвазия, постоянная пробная площадка, видовой состав, структура фитоценоза, проективное покрытие.

E. V. SPIRYDOVICH¹, N. B. VLASAVA^{1,4}, E. D. AGABALAEVA¹,
 D. V. DUBOVIK², A. N. SKURATOVICH², D. MILLER³, M. KOST⁴,
 YU. K. VINOGRADOVA⁵, V. N. RESHETNIKOV¹

INFLUENCE OF *RHAMNUS CATHARTICA* L. ON THE SPECIES ABUNDANCE AND STRUCTURE OF PLANT COMMUNITIES IN BELARUS AND IN THE REGIONS OF THE MIDDLE WEST OF THE USA

¹The Central botanical gardens of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
 e-mail: a.spirydovich@gmail.com

²V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
 Minsk, Belarus

³University of Minnesota Landscape Arboretum, Chaska, USA

⁴Matthaei Botanical Gardens and Nichols Arboretum, University of Michigan, Ann Arbor, USA

⁵N. V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Annotation. The history of intentional introduction of *Rhamnus cathartica* L. to the regions of the Midwest, USA, is briefly described. The species abundance and structure of plant communities in which *Rhamnus cathartica*, a native species for Belarus and invasive in the USA, grows has been studied. We compared the studied parameters (floristic description of the monitoring plots, field enumeration of *Rh. cathartica* individuals, average height, projective coverage of the accompanying herb species) at three monitoring plots in Belarus and three monitoring plots in the Midwest, USA. The data confirmed the hypothesis of increased competitiveness of non-native species in the secondary range (ЕИСА). In American populations, compared to Belarusian populations, *Rhamnus cathartica* has larger size, higher

seed production, higher number of juvenile individuals, and higher total number of individuals in the population up to the formation of single-species thickets. Invasion of *Rhamnus cathartica* into natural plant communities in the U.S. reduces the number of herbaceous species in 8 times! As control measures, the Minnesota Arboretum has begun balding areas invaded by *Rhamnus cathartica*, removing juvenile plants (one to five years old), and replanting native tree species.

Keywords: *Rhamnus cathartica* L., invasion, permanent sample plot (PSP), species composition, phytocenosis structure, the projective coverage.

ВВЕДЕНИЕ

Биологические инвазии являются ключевой темой экологических исследований в последние десятилетия [1]. Причина очевидна – инвазивные растения влияют на естественные сообщества, вытесняя местные виды и изменяя структуру растительности, что приводит к снижению естественного биоразнообразия в пострадавших районах [2–4], подрывают функционирование целых экосистем [5] и наносят значительный экономический ущерб [6].

В то время как увеличение количества и расширение ассортимента чужеродных видов мировой флоры довольно хорошо задокументированы [6, 7], их воздействие на местные виды остается в большинстве случаев количественно не определенным [8, 9], и конкретные примеры приведены лишь в ограниченном числе публикаций [10].

Процесс вторжения инвазивных видов разделяют на стадии: 1) занос диаспор (преодоление «географического барьера»); 2) колонизация (преодоление «абиотического барьера»); 3) натурализация (преодоление «биотического барьера»); 4) инвазия (широкое распространение в ландшафте и агрессивное вторжение в аборигенные фитоценозы) [11]. Имеются исследования по изучению влияния на инвазии интенсивности сельскохозяйственного производства, урбанизации, плотности транспортной инфраструктуры, обезлесивания, потери местообитаний и др. Разрабатываются прогнозы инвазивных процессов при разных сценариях землепользования [12], в том числе под влиянием климатических изменений.

Кратко рассмотрим историю преднамеренной интродукции *Rhamnus cathartica* L. в районы Среднего Запада США. Род Жостер (*Rhamnus* L. 1753) семейства Крушиновые (*Rhamnaceae* Juss.), включает около 150 видов, распространённых в умеренно теплых, субтропических и отчасти тропических областях обоих полушарий [13]. Жостер слабительный (*Rhamnus cathartica* L.), природный вид для Беларуси, – многолетний кустарник, в основном произрастающий по берегам рек (не заболоченным), либо в подлеске светлых широколиственных лесов. Вместе с тем этот вид является широко распространённым и агрессивно инвазивным видом в США, на

Среднем Западе, что приводит к экономическим потерям в результате нарушений и повреждений естественных и сельскохозяйственных экотопов и необходимости затрат на их восстановление [14]. По результатам наших наблюдений и данным литературы [15], во вторичном ареале этот вид также является кустарником, но имеет более крупный габитус и более высокую степень плодоношения. Доказано значительное негативное влияние этого вида на природные экосистемы США, в т.ч. отмечена конкуренция с аборигенными видами рода *Rhamnus* [16]. В то же время существует потенциальная возможность гибридизации *Rh. cathartica* во вторичном ареале с близкородственными видами, что может привести к формированию еще более агрессивных таксонов. Так, была подтверждена гибридизация двух чужеродных для США видов *Rh. cathartica* и *Rh. utilis* [17].

В истории интродукции *Rhamnus cathartica* в Северной Америке можно выделить следующие основные этапы, способствующие его распространению:

- вид был преднамеренно интродуцирован в конце XVIII-го в. для использования в медицине и как растение-краситель;
- признан превосходным растением для хеджирования (создания живых изгородей). Возможно, впервые использовался в качестве живой изгороди в Салеме, штат Массачусетс в 1830-х гг.;
- американский журнал садоводства в 1867 г. сообщал, что растение жостера «не обильно снабжено шипами, но по мере того, как стволы кустов сгущаются, он станет настолько густым, что безумный бык не сможет пройти через него»;
- питомник Джуэлл в Лейк-Сити, штат Миннесота, называл его популярным хедж-растением в 1892 г.; уже к 1909 г. большинство питомников Миннесоты, включая NorthrupKing и FarmerSeed, предлагали жостер для широкой реализации населению.

Тем не менее, значительное распространение численности вида и связанные с этим негативные эффекты стали очевидны только после 1970-х гг., когда служба транспорта США стала его эффективно использовать для посадок вдоль автомобильных дорог [18].

В качестве подхода к пониманию направленности процесса инвазии, её эффективности и возможных последствий, нами проведены сравнительные характеристики местообитаний растений *Rh. cathartica* в условиях естественного распространения в Беларуси (РБ) и вторичного ареала (Средний Запад США). На одной из площадок в США, на территории Ландшафтного Арборетума

Университета Миннесоты (ЛАУМ), применялись меры сохранения естественного биоразнообразия.

Цель работы – сопоставить состав и структуру растительных сообществ с участием жостера слабительного *Rhamnus cathartica* в естественном и вторичном ареале и оценить влияние этого инвазивного в США вида на биоразнообразии природных фитоценозов.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки биоразнообразия исследуемых фитоценозов в Республике Беларусь и США были использованы стандартизированные для сравнительных исследований геоботанические методы [19]. Изучение растительности включало в себя закладку постоянных пробных площадей (ППП) с привязкой к точкам, согласно GPS координатам (табл. 1). На территории Беларуси площадки для исследования распространения

Rh. cathartica были заложены в трех локалитетах: 1) Болдук – берег озера Болдук – площадка размером 50 м x 3 м (ППП 1); 2) «Теляки – Скоры» – придорожная часть дороги Р28 Мядель – к/п Нарочь размером 25 м x 6 м (ППП 2); 3) «Гродно» – верхняя кромка коренного берега р. Неман с пешеходной тропой размером 25 м x 6 м (ППП 3). В трех локалитетах климат умеренно континентальный.

Таблица 1. Описание и географическая привязка обследованных локалитетов (ППП) *Rhamnus cathartica*

Table 1. Description and geographical coordinates of the surveyed *Rhamnus cathartica* localities (PSPs)

Ареал Distribution	№ локалитета No of locality	Наименование объекта. Географическая привязка. Дата исследования и отбора проб Name of the object; georeferencing; date of survey and sampling	Местообитание. Нарушенность (%) Habitat. Disturbance (%)	Тип экотопа Ecotope/Forest association type
Естественный (Беларусь)	ППП 1	Озеро Болдук, Мядельский р-н, Беларусь; N54.966667° E26.418056°; 2017, 2019, 2021	Берег озера Болдук. Конечноморенная гряда на побережье озера. Низкая (10%)	Еловый лес с примесью ольхи
	ППП 2	Дорога Р 28 Мядель – Нарочь, поворот Теляки-Скоры, Мядельский р-н, Беларусь; N54.883333° E26.783333°; 2017, 2019, 2021	Участок вдоль дороги. Моренно-ледниковая, волнистая равнина. Средненизкая (30%)	Сосново-березовый лес
	ППП 3	Река Неман, Гродно, Беларусь; N53.676001559°, E23.785196923°; 2017, 2019, 2021	Верхняя кромка коренного берега р. Неман с пешеходной тропой. Средняя (40 %)	Сосновый лес с примесью ольхи
Вторичный (Средний Запад США)	ППП 4	Озеро Тамарак, г. Миннеаполис, Миннесота, США; N44.873900531° E93.631268947°; 2017, 2019	Частная территория на границе с ЛАУМ, Средняя (40 %)	Дубрава с примесью клена и липы
	ППП 5	Озеро Тамарак, г. Миннеаполис, Миннесота, США; N44.873900531° E93.631268947°; 2017, 2019	Площадка ЛАУМ под реставрацией в связи с инвазией жостера. Средняя (40 %)	Дубрава с примесью клена и липы
	ППП 6	Река Гурон, Айленд-парк г. Анн Арбор, Мичиган, США; N42.291062° E83.728344°; 2019	Склон реки, рудеральный ландшафт в черте населенного пункта. Высокая (50 %)	Дубрава с примесью клена и липы

В условиях вторичного ареала в регионе Среднего Запада США (штаты Миннесота и Мичиган) для изучения инвазионных популяций *Rh. cathartica* были исследованы три локалитета: 1) штат Миннесота, графство Carver, озеро Тамарак, частная территория на границе с ЛАУМ, без специального ухода (ППП 4); 2) штат Миннесота, графство Carver, территория Миннесотского ландшафтного арборетума, находящаяся под реставрацией с применением различных методов борьбы с жостером слабительным (ППП 5) и 3) штат Мичиган, г. Анн Арбор, р. Гурон, островной парк (ППП 6). Климат штатов Миннесота и Мичиган – влажный континентальный. Геогра-

фические координаты и характеристика местообитаний обследованных популяций *Rh. cathartica* в Беларуси и регионе Среднего Запада США см. в табл. 1.

Определение видового состава растительности на каждом обследованном участке проводили по единой схеме согласно общепринятым методикам [20]. Оценивали видовой состав, доминирующие виды в древесном, кустарниковом и травяном ярусах, состояние подроста древесных растений. В травяном ярусе отмечали высоту каждого вида и его проективное покрытие (в процентах). Степень плодоношения жостера оценивали по пятибалльной шкале.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Сравнительная характеристика популяций *Rhamnus cathartica* (численность, продуктивность растений)*

В Беларуси численность жостера слабительного на обследуемых площадках значительно различалась. На ППП 1 (рис. 1 А) отмечено присутствие 32 особей, на ППП 2 (рис. 1 Б) росло втрое больше особей – 108, на ППП 3 – 55.

Мониторинг участка по берегу озера Болдук показывает, что численность *Rh. cathartica* снижается: в 2017 г. на площадке выявлено 95 особей [21], в 2021 г. – только 45. При этом следует отметить, что число сеянцев высотой до 50 см довольно значительно флуктуирует по годам, выравниваясь к возрасту 8–12 лет (высота 50–100 см), а далее количество стволов по мере взросления и перехода к плодоношению постепенно уменьшается. В 2021 г. сеянцев до 50 см выявлено не бы-

ло. На примере участка ППП 1 при проведении повторных натурных обследований подтверждено, что деревья начинают усыхать. Было отмечено, что к возрасту 25–30 лет сохраняются лишь отдельные экземпляры. При этом диаметр ствола у них обычно не превышает 12–15 см, а высота редко превышает 2 м (табл. 2). Условия произрастания отдельных деревьев по участку примерно одинаковые, а усыхающие деревья отмечаются по всему профилю.

Аналогичные выводы сделаны и при анализе данных на участке ППП 2 («Теляки-Скоры») и ППП 3 («Гродно»). Здесь выявлено высокое участие в ценозе одно-, дву- и трехлетних сеянцев жостера высотой до 50 см: обнаружено 33 таких особи, что составляет ~30% численности популяции. По мере роста и развития их доля снижается до 15 % и увеличивается до 33% в более



А



Б

Рис. 1. Обследованные местообитания *Rhamnus cathartica* в природном ареале:

А – участок вдоль озера Болдук (Беларусь; ППП 1);

Б – полоса придорожной территории Теляки-Скоры (Беларусь, ППП 2)

Fig. 1. Surveyed habitats of *Rhamnus cathartica* in the native range: A – area along Lake Bolduk (Belarus; PSP 1); B – roadside area at Telyaki-Skory location (Belarus, PSP 2)

Таблица 2. Показатели роста и развития *Rhamnus cathartica***Table 2.** Growth and development data of *Rhamnus cathartica*

Ареал Range	Обсле- дуемые площадки Surveyed plots	Общее чис- ло особей Total, indi- viduals	Плотност ь, шт./м ² Density, ind./m ²	Максимальная высота, м / диа- метр ствола, см Maximum height, m / width cm	Сомкнутость крон, % Canopy density, %	Обилие ягод, баллы (от 1 до 5) / Berry abundance, score (1 to 5)
Естественный (РБ) Natural (Belarus)	ППП 1	32	0,21	2,5/12	99	2
	ППП 2	108	0,72	2,0/10	78	2
	ППП 3	55	0,36	2,5/13	83	2
Вторичный (Средний Запад США) Introduced (US Midwest)	ППП 4	1200	8,00	до 5/20	70	4
	ППП 5	770	5,10	1,25/3	15	3
	ППП 6	1002	6,68	3,5/22	40	4

зрелом возрасте. Это может свидетельствовать о том, что даже при обильном плодоношении и последующем высоком показателе всхожести более половины растений не доживают до стадии взрослых и плодоносящих кустов (деревьев). Это подтверждается данными натурного перече́та: постоянно и довольно часто отмечаются усохшие экземпляры возраста 1–3 лет, произрастающие как на затененных участках, так и в местах со средним уровнем затенения. Возможно, это связано с засухами на протяжении двух последних лет, но могут быть и иные причины. Таким образом, в Беларуси зафиксирован тренд снижения численности жостера слабительного в естественных фитоценозах, хотя пока и незначительного.

В США максимальное проявление инвазии *Rh. cathartica* отмечено на ППП 4 (рис. 2А), частной территории, находящейся рядом с ЛАУМ. Здесь зафиксировано наибольшее число взрос-

лых особей, и инвазивная популяция представляет собой монодоминантные заросли.

На пограничной с ППП 4, территории ППП 5 проводились эксперименты по реставрации природных биотопов – открытой дубовой саванны и прерии (суходольного лугового сообщества) (рис. 2Б), в результате которых численность инвазивного вида значительно снизилась. Нами зафиксировано, что на ППП 5 отсутствуют взрослые особи *Rh. cathartica* (удалялись механически в процессе реставрационных мероприятий), и вид представлен здесь только ювенильными экземплярами. По снижению численности вида обследуемые площадки во вторичном ареале распространения жостера располагаются в ряду ППП 4 > ППП 6 > ППП 5. Стоит отметить, что на ППП 6 (в пределах города Анн Арбор, Мичиган) также проводятся работы по контролю численности инвазивных видов.



А



Б

Рис. 2. Обследованные местообитания *Rhamnus cathartica* во вторичном ареале (инвазия):

А – ППП 4 – частная территория на границе с ЛАУМ;

Б – ППП 5 – площадка ЛАУМ под реставрацией в связи с инвазией жостера

Fig. 2. Surveyed habitats of *Rhamnus cathartica* in the secondary range (invasion):

А – PSP 4 – private area on the border with LAUM;

Б – PSP 5 – LAUM site under restoration due to common buckthorn invasion

Инвазионные популяции жостера на территории США имеют более высокую семенную продуктивность, чем естественные популяции в Беларуси. Соответственно отмечено и более высокое возобновление: даже при сильном затенении в сплошных зарослях жостера (ППП 4) численность его всходов составляла 20–30 шт./м², а в отсутствии затенения она возрастала (ППП 5) до 100–120 шт./м². Возраст особей не был определен точно, однако габитус взрослых особей определял характер сплошных непроходимых зарослей. Зафиксировано, что вырубка растений без последующей аппликации гербицидов, инициирует активный рост корневой поросли на ППП 5, что может приводить к формированию еще более плотных зарослей в дальнейшем.

Как показано на участке, на котором проводили работы по реставрации и снижению численности инвазивных видов (ППП 5), вырубка растений жостера на небольших по площади участках может привести к положительному результату лишь в том случае, если эти работы будут проводиться регулярно и на постоянной основе, а через год-два будут дополнены работами по ручной обработке гербицидом (аппликации на стадии молодой листвы). В табл. 2 см. показатели роста и развития *Rh. cathartica* на исследуемых площадках. Второе отличие между растениями *Rh. cathartica* в естественном и вторичном (инвазионном) ареале состоит в увеличении их габитуса. В Беларуси этот вид достигает более 2,5–3 м в высоту и имеет диаметр ствола на высоте 1,3–1,5 м не более 8–12 см. Во вторичном ареале экземпляры достигают в высоту до 10 м, диаметр ствола 20–22 см. У американских растений отмечено наличие многочисленных шипообразных верхушек однолетних побегов. Возможно, в ходе микроэволюции в регионе Среднего Запада США сформировался оригинальный морфотип *Rh. cathartica*, поскольку там в ходе преднамеренной интродукции использовался посадочный материал из разных частей евразийского ареала [22].

Отмечены также различия в самих местах произрастания *Rh. cathartica*. По данным гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK), более 80% из просмотренных образцов этого вида в Беларуси собраны в различных формациях лесов: дубравы, сосняки, ельники, ясенники, березняки, черноольшаники, а также на их опушках и полянах, где отсутствуют песчаные бедные почвы. Остальные 20% приурочены к разнообразным водотокам (преимущественно быстротекущим и без наличия заболоченных берегов) или водоемам (тоже с высокими сухими или сыроватыми берегами). Также следует отметить более частую встречаемость и

приуроченность вида к моренным образованиям (особенно – к конечно-моренным грядам). Это говорит о положительном отношении вида к повышенному содержанию кальция в почве и ее довольно высокому плодородию. В условиях Беларуси жостер крайне редко становится синантропным видом или произрастает на заброшенных территориях. Во вторичном ареале в США, наоборот, *Rh. cathartica* чаще приурочен именно к нарушенным местообитаниям с пониженными показателями плодородия почвы.

Определение видового состава растительности важно для выявления ряда характеристик исследуемых фитоценозов. На исследуемых ППП были выделены следующие ярусы: древесный (включая подрост), кустарниковый и травяной. На рис. 3 представлено число видов каждого яруса для всех исследуемых ППП. Наибольшим видовым разнообразием отличается травяной ярус (максимальное число видов – 61 для ППП 3 – РБ и минимальное – 4 вида на ППП 3 – США, где сформировались сплошные заросли жостера).

Далее детально охарактеризованы все ППП и проведен сравнительный анализ изучаемых параметров.

Растительные сообщества локалитетов с участием *Rhamnus cathartica* в Беларуси и Среднем Западе США

ППП 1 («Болдук») – располагается вдоль крутого склона берега озера Болдук в окрестностях (0,8 км) деревни Войшкуны. Среда обитания – участок вдоль озера Болдук, имеющий холмисто-моренный рельеф. Тип экотопа – ельник-кисличник. Рядом с ППП 1 расположена тропиноподобная сеть и место стоянки автомашин. Почва здесь песчаная с большим количеством валунов, pH = 5,89. Растения жостера располагаются узкой полосой шириной от 1 до 4 метров вдоль берега озера.

При этом непосредственно в лес не уходит почти ни один экземпляр вида. Для ППП 1 зарегистрировано максимальное видовое разнообразие (табл. 3, 4): в первом древесном ярусе доминирует ель, во втором древесном ярусе – ольха (2 вида), отмечен подрост 4 видов деревьев, в кустарниковом ярусе представлено 8 видов, в травяном ярусе – 56 видов. Здесь наблюдается повышенное участие доли синантропного компонента флоры, что обусловлено расположением ППП вдоль пешеходной лесной тропы, из-за чего происходит усиленный перенос минеральных веществ, т.е. почва обогащается, становясь более плодородной. На ППП 1 не наблюдается значительного развития плотнодерновинных участков, и проростки жостера появляются как на полуоткрытых, так и на затененных фрагментах трансекты.

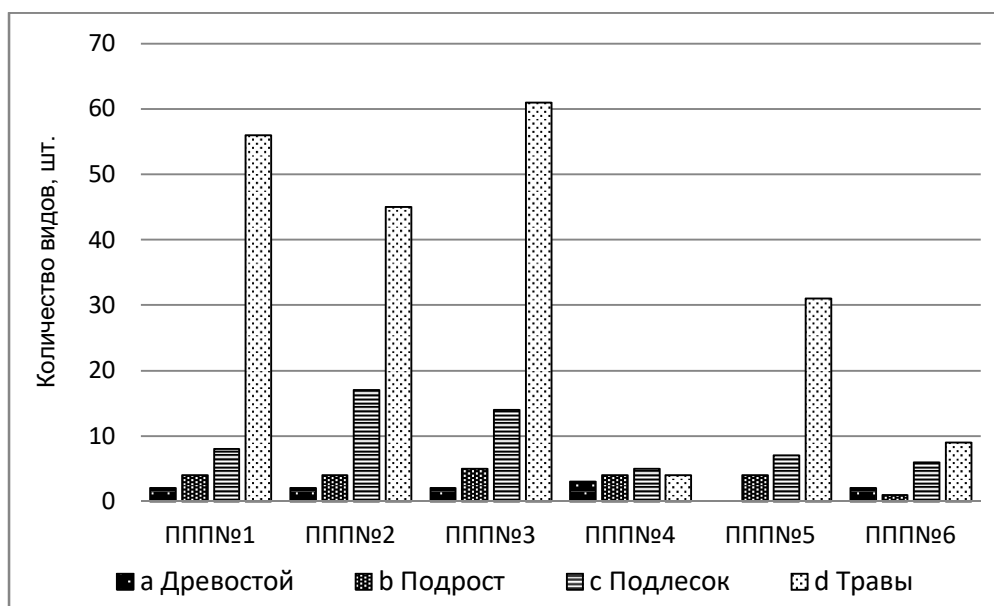


Рис. 3. Численность видов *Rhamnus cathartica* на изучаемых ППП: а – древостой, б – подрост, с – подлесок, d – травы

Fig. 3. Number of species at studied PSPs: a – adult trees, b – undergrowth, c – shrub layer, d – herb layer

Таблица 3. Характеристика древесного и кустарникового яруса на ППП 1

Table 3. Characteristics of the tree and shrub layers at PSP 1

Древесный ярус / Tree layer		Кустарниковый ярус* Shrub layer
Взрослые деревья / Adult trees	Подрост* / Undergrowth	
<i>Picea abies</i> <i>Alnus glutinosa</i>	<i>Picea abies</i> 3м/4 <i>Alnus glutinosa</i> 7м/4 <i>Fraxinus excelsior</i> 5м/2–3 <i>Populus tremula</i> 15см/<1	<i>Frangula alnus</i> 4м/60 <i>Rhamnus cathartica</i> 3м/10 <i>Corylus avellana</i> 3м/10 <i>Sorbus aucuparia</i> <i>Amelanchier spicata</i> 2.5м/1 <i>Salix aurita</i> 1м/1 <i>Juniperus communis</i> 3.5м/1 <i>Rubus caesius</i> 40см/2
*Здесь и далее – в числителе – средняя высота растений, в знаменателе – проективное покрытие, % (numerator – average plant height, denominator – projective cover, %)		

ППП 2 («Теляки-Скоры») – расположена на моренно-ледниковой, волнистой равнине в 100 м от поворота на населенные пункты Теляки-Скоры, в 1,7 км к западу от деревни Пасынки. Местообитание – придорожная полоса вдоль дороги Пасынки – Черевки. Состояние экотопа – стабильное. Происхождение экотопа – синантропный. Тип почвы – опесчаненный суглинок, pH = 6,37. В табл. 5, 6 представлена структура фитоценоза на ППП 2. Отмечена довольно высокая видовая насыщенность данного участка как в древесном ярусе (взрослые деревья – 2, подрост – 4 вида), так и в кустарниковом ярусе – 17 видов, а также и в травяном ярусе – 45 видов (см. табл. 5, 6).

При этом моховой ярус практически не выражен. Несомненно, что на видовое богатство площадки большое влияние оказало расположение данной территории в придорожном экотопе. От-

сюда и участие древесно-кустарниковых видов заносного характера: вишня обыкновенная, яблоня домашняя, ирга колосистая, груша обыкновенная, черемуха поздняя. Это приводит к повышенному затенению участка. Есть предположение, что и популяция самого жостера слабительного также имеет заносный характер, поскольку он, как и описываемые выше заносные виды (вишня, ирга, черемуха) и др., также имеет сочные плоды, которые активно поедаются птицами. Семена жостера после прохождения через пищеварительный тракт птиц попадают в подстилку, где впоследствии прорастают. Кроме того, для успеха прорастания семян жостера большее значение имеет наблюдаемая здесь низкая степень задернения почвы. Заложенные площадки посещались неоднократно на протяжении полевых сезонов 2017, 2019 и 2021 гг.

Таблица 4. Характеристика травяного яруса на ППП 1

Table 4. Characteristics of the herb layer at PSP 1

Травяной ярус / Herbaceous layer		
<i>Brachipodium pinnatum</i> 50/10	<i>Asarum europea</i> 10/3	<i>Thysselinum palustre</i> 16/<1
<i>Hepatica nobilis</i> 10/2	<i>Carex acuta</i> 50/5	<i>Nardus stricta</i> 20/1
<i>Angelica sylvestris</i> 40/3	<i>Carex flava</i> 45/1	<i>Peusidanum oreoselinum</i> 20/1
<i>Melampyrum nemorosum</i> 30/2	<i>Potentilla erecta</i> 15/1	<i>Equisetum pratense</i> 40/1
<i>Galeobdolon luteum</i> 10/3	<i>Sieglingia decumbens</i> 25/1	<i>Hieracium silvularum</i> 5/2
<i>Phyteuma spicatum</i> 5/<1	<i>Briza medium</i> 40/<1	<i>Festuca ovina</i> 15/1
<i>Clinopodium vulgare</i> 4/1	<i>Lycopus eropaeus</i> 4/2	<i>Molinia caerulea</i> 100/2
<i>Aegopodium podagraria</i> 10/2	<i>Eleocharis palustris</i> 35/1	<i>Lythrum salicaria</i> 50/1
<i>Viola riviniana</i> 10/<1	<i>Vaccinium myrtillus</i> 20/3	<i>Aquilegia vulgaris</i> 1м/1
<i>Fragaria vesca</i> 5/4	<i>Dryopteris carthusiana</i> 15/<1	<i>Eupatorium cannabinum</i> 110/1
<i>Campanula rapunculoides</i> 50/1	<i>Calamagrostis canescens</i> 50/3	<i>Pteridium pinetorum</i> 40/2
<i>Agrimonia eupatoria</i> 45/1	<i>Iris pseudacorus</i> 40/<1	<i>Oxalis acetosella</i> 5/2
<i>Chaerophyllum aromaticum</i> 20/2	<i>Maianthemum bifolium</i> 5/1	<i>Hieracium murorum</i> 15/1
<i>Poa nemoralis</i> 30/2	<i>Solidago virgaurea</i> 45/1	<i>Centaurea jacea</i> 70/1
<i>Carex hitra</i> 25/7	<i>Knautia arvensis</i>	<i>Phragmitis australis</i> 110/3
<i>Carex digitata</i> 15/1	<i>Melica nutans</i> 30/<1	<i>Deschampsia cespitosa</i> 30/1
<i>Luzula pilosa</i> 10/<1	<i>Campanula persicifolia</i> 50/1	<i>Scorzonera humilis</i> 15/9
<i>Poa angustifolia</i> 45/1	<i>Ajuga reptans</i> 10/1	<i>Succisa pratensis</i> 60/1
<i>Stellaria holostea</i> 15/2	<i>Pteridium aquilinum</i> 170/7	

Таблица 5. Структура фитоценоза на ППП 2 «Теляки-Скоры»

Table 5. Phytocoenosis structure at PSP 2 «Cialiaki-Skory»

Древесный ярус / Tree layer		Кустарниковый ярус Shrub layer
Взрослые деревья / Adult trees	Подрост / Undergrowth	
<i>Pinus silvestris</i> 25/90	<i>Acer platanoides</i> 160см /3	<i>Frangula alnus</i> 4м/60
<i>Betula pendula</i> 20/10	<i>Quercus robur</i> 100 см /5;	<i>Rhamnus cathartica</i> 1.80 м/7
	<i>Betula pendula</i> 4м />1	<i>Sorbus aucuparia</i> 150см/
	<i>Fraxinus excelsior</i> 4м /1	<i>Juniperus communis</i> 200см/
		<i>Salix acutifolia</i> 300см />1
		<i>Prunus cerasus</i> 200см/2
		<i>Malus domestica</i> 250 см/
		<i>Corylus avellana</i> 100 см/2
		<i>Amelanchier spicata</i> 25см/>1
		<i>Pyrus communis</i> 180см/1
		<i>Viburnum opulus</i> 100см/
		<i>Ribes pubescens</i> 80см/
		<i>Euonymus europaeus</i> 200см/>1
		<i>Rosa x malyi</i> 100 см/1
		<i>Rubus caesius</i> 60см/3
		<i>Padus serotina</i> 400см/1
		<i>Rubus idaeus</i> 120см/>1

ППП 3 «Гродно» – располагается в городской черте, на выезде из города в сторону Святска. Местообитание – на облесенном склоне (до 15 м) коренного берега р. Неман. Тип экотопа – сосновый лес с примесью ольхи. Тип почвы – дерново-подзолистая супесчаная, рН = 5,27. Растения жостера растут по всему крутому склону до самой воды. В табл. 7, 8 представлена структура фитоценоза на ППП 3. Так же, как на ППП 2, отмечена высокая видовая насыщенность данного участка как в древесном ярусе (взрослые деревья – 2, подрост – 5 видов), так и в кустарниковом ярусе – 15 видов, а также и в травяном ярусе – 61

вид, максимальное значение для участков, наблюдаемых в Беларуси (см. табл. 7, 8).

ППП 4 – (Миннесота, озеро Тамарак), частная ритория на границе с Ландшафтным Арборетумом Университета Миннесоты находится в густом лесу. Топография – ровный, немного холмистый участок, возвышенная часть склона, крутизна <5%. Почва – суглинок, рН=7,0. На данном участке санитарные меры по борьбе с жостером слабительным не ведутся. Тип экотопа – дубрава с примесью клена и липы. Нарушенность – 40% (средняя). Состояние экотопа – нестабильное.

Таблица 6. Характеристика травяного яруса на ППП 1

Table 6. Phytocoenosis structure at PSP 2

Травяной ярус / Herbaceous layer		
<i>Torilis japonica</i> 50см/1	<i>Rumex acetosa</i> 20см/1	<i>Carex hirta</i> 30см/2
<i>Dactylis glomerata</i> 60см/2	<i>Trifolium medium</i> 15см/2	<i>Carex digitata</i> 30см/1
<i>Fragaria vesca</i> 5см/5	<i>Origanum vulgare</i> 20см/1	<i>Luzula pilosa</i> 10см/1
<i>Festuca rubra</i> 25см/8	<i>Anthericum ramosum</i> 20см/1	<i>Carex contigua</i> 4см/<1
<i>Hypericum perforatum</i> 40см/1	<i>Ranunculus polyanthemos</i> 15см/1	<i>Angelica sylvestris</i> 15см/<1
<i>Melampyrum nemorosum</i> 20см/1	<i>Allium oleracium</i> 40см/1	<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>
<i>Fragaria viridis</i> 15см/<1	<i>Centaurea scabiosa</i> 25см/1	50см/<1
<i>Medicago falcata</i> 60см/1	<i>Epilobium angustifolium</i> 50см/2	<i>Ranunculus repens</i> 15см/<1
<i>Moehringia trinervia</i> 3см/1	<i>Taraxacum officinale</i> 15см/1	<i>Dryopteris carthusiana</i>
<i>Geum urbanum</i> 15см/1	<i>Poa compressa</i> 30см/1	35см/<1
<i>Knautia arvensis</i> 40см/1	<i>Poa angustifolia</i> 40см/1	<i>Campanula persicifolia</i>
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> 10см/3	<i>Festuca pratensis</i> 60см/1	60см/<1
<i>Galium verum</i> 20см/2	<i>Agrostis capillaris</i> 20см/1	<i>Achillea millefolium</i> 10см/<1
<i>Pimpinella saxifraga</i> 20см/1	<i>Campanula rapunculoides</i> 40см/1	<i>Primula veris</i> 20см/<1
<i>Veronica chamaedrys</i> 15см/1	<i>Poa nemoralis</i> 30см/2	<i>Agrimonia eupatoria</i> 20см/<1
<i>Viola riviniana</i> 10см/1		<i>Veronica sp.</i> 60см/<1
<i>Astragalus glycyphyllos</i> 15см/1		

Таблица 7. Структура фитоценоза на ППП 3 «Гродно»

Table 7. Phytocoenosis structure at PSP 3 «Hrodna»

Древесный ярус / Tree layer		Кустарниковый ярус Shrub layer
Взрослые деревья / Adult trees	Подрост / Undergrowth	
<i>Pinus silvestris</i> 16м/70	<i>Tilia cordata</i>	<i>Rhamnus cathartica</i> 3м /10
<i>Alnus glutinosa</i> 3м/10	<i>Quercus robur</i> 130/10	<i>Berberis vulgaris</i> 200/2
	<i>Acer platanoides</i> 200/2	<i>Corylus avellana</i> 250/3
	<i>Fraxinus excelsior</i> 300/	<i>Sorbus aucuparia</i>
	<i>Betula pendula</i> 150/1	<i>Rubus idaeus</i> 45/8
		<i>Acer negundo</i> 300/1
		<i>Padus rasemosa</i> 300/2
		<i>Sambucus nigra</i> 350/2
		<i>Rubus alpinus</i> 120/1
		<i>Amelanchier spicata</i> 300/3
		<i>Parthenocissus inserta</i> 800/5
		<i>Rosa spinosissima</i> 100/2
		<i>Cerasus vulgare</i> 250/2
		<i>Euonymus europaeus</i> 250/2

ППП 4 характеризуется максимальным обилием жостера слабительного, представленного, в основном, взрослыми особями. В отличие от всех остальных изученных площадок, здесь отмечено всего 4 вида травяного яруса (табл. 9). Следовательно, агрессивная инвазия *Rhamnus cathartica* приводит к значительному обеднению видового состава травяного яруса в фитоценозе.

ППП 5 – (штат Миннесота, территория Ландшафтного арборетума), находящаяся под реставрацией. Расположена в открытом дубовом лесу, окруженном полями (восстановление прерий) над озером Тамарак. Топография – относительно ровный, немного холмистый участок, возвышенная часть склона, крутизна <5%. Почва – суглинок, рН=7,0. Тип экотопа – дубрава кленово-ли-

повая. Нарушенность – 40% (средняя степень; 4 года восстановления). Состояние экотопа – стабильное. На этом участке использовались все методы борьбы с изучаемым видом для сохранения естественного биоразнообразия, включая как контроль расселения инвазивных видов (физические, химические и биологические методы борьбы), так и поддержание жизнеспособности популяций аборигенных видов (высаживание активно плодоносящих аборигенных видов по границе охраняемых территорий и подсаживание в популяции с сокращенной численностью, ювенильных особей, выращенных в питомнике из семян, собранных в той же популяции). На ППП 4 жостер слабительный представлен ювенильными и незначительным количеством особей других возрастных состояний. Древесный ярус отсутствует.

Таблица 8. Характеристика травяного яруса на ППП 3**Table 8.** Characteristics of the herb layer at PSP 1

Травяной ярус / Herbaceous layer		
<i>Fragaria vesca</i> 5/3	<i>Trifolium medium</i> 40/1	<i>Campanula rotundifolia</i> 15/1
<i>Linaria vulgaris</i> 15/2	<i>Achillea millefolium</i> 10/3	<i>Thymus serpyllum</i> 5/2
<i>Geum urbanum</i> 25/2	<i>Phleum phleoides</i> 25/1	<i>Dactylis glomerata</i> 60/1
<i>Silene nutans</i> 30/4	<i>Carex caryophylla</i> 10/1	<i>Plantago major</i> 15/2
<i>Festuca ovina</i> 15/3	<i>Impatiens parviflora</i> 25	<i>Viola hirta</i> 5/2
<i>Festuca rubra</i> 20/3	<i>Polypodium vulgare</i> 15/2	<i>Polygonatum officinale</i> 20/1
<i>Anemone sylvestris</i> 10/1	<i>Geranium robertianum</i> 15/2	<i>Centaurea scabiosa</i> 15/1
<i>Galium verum</i> 15/2	<i>Artemisia campestris</i> 15/2	<i>Viola rupestris</i> 5/2
<i>Ranunculus acris</i> 45/1	<i>Dryopteris filix-mas</i> 45/<1	<i>Veronica chamaedrys</i> 15/2
<i>Agrimonia eupatoria</i> 35/1	<i>Dianthus carthusianorum</i> 30/2	<i>Artemisia vulgaris</i> 90/1
<i>Stellaria media</i> 5/2	<i>Armeria vulgaris</i> 30/2	<i>Hieracium umbellatum</i> 40/1
<i>Elymus repens</i> 15/2	<i>Peucedanum oreoselinum</i> 40/2	<i>Chelidonium majus</i> 15/2
<i>Polygonum convolvulus</i> 20/1	<i>Polygonum aviculare</i> 15/1	<i>Carex hirta</i> 30/3
<i>Veronica spicata</i> 20/1	<i>Lolium perenne</i> 15/4	<i>Cichorium intybus</i> 65/1
<i>Pulsatilla patens</i> 15/1	<i>Agrostis capillaris</i> 15/3	<i>Plantago lanceolata</i> 15/1
<i>Festuca trachyphylla</i> 15/7	<i>Urtica dioica</i> 15/1	<i>Torilis japonica</i> 20/1
<i>Solidago virgaurea</i> 70/5	<i>Senecio vulgaris</i> 15/<1	<i>Medicago falcata</i> 40/1
<i>Calamagrostis epigejos</i> 45/3	<i>Sedum sexangulare</i> 5/2	<i>Inula salicina</i> 30/1
<i>Pimpinella saxifraga</i> 15/1	<i>Veronica officinalis</i> 5/1	<i>Taraxacum officinale</i> 15/3
<i>Scabiosa ochroleuca</i> 45/1	<i>Carex digitata</i> 15/3	
<i>Hieracium murorum</i> 20/2	<i>Berteroa incana</i> 20/1	

Таблица 9. Структура фитоценоза на ППП 4, наиболее сильно подвергнутой инвазии жостера**Table 9.** Phytocoenosis structure at PSP 4, with the most severe common buckthorn invasion

Древесный ярус Tree layer	Подрост Undergrowth	Кустарниковый ярус Shrub layer	Травяной ярус Herb layer
<i>Quercus rubra</i>	<i>Padus serotina</i> 15/2	<i>Rhamnus cathartica</i> 1/80	<i>Galium spurium</i>
<i>Tilia americana</i>	<i>Fraxinus pensilvanica</i> 45/2	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> 15/4	<i>Poaceae</i> sp. 15/1
<i>Acer saccharum</i>	<i>Populus tremuloides</i> 15/1	<i>Vitis riparia</i> 5м/1	<i>Carex blanda</i> 15/<1
	<i>Acer saccharum</i> 20/1	<i>Lonicera caerulea</i> 170/3	<i>Geum canadense</i> 15/<1
		<i>Aronia melanocarpa</i> 25/1	

Для площадки характерна наибольшая доля травянистых растений (77%), что, возможно, связано с уничтожением взрослых растений жостера и с осветлением напочвенного покрова. Соответственно, на свободных от жостера участках отмечается большое видовое разнообразие травянистых растений (до 31 вида) (табл. 10).

Следует отметить, что в Миннесоте выявлена приуроченность жостера слабительного к характерным для территории штата почвам повышенной трофности. Отношение вида к увлажнению негативное – на участках с повышенной влажностью или заболоченных этот вид практически не отмечается. За длительный период культивирования вид сумел приспособиться к местным природным условиям и массово внедриться в естественные ценозы, чему, без сомнения, способствовали птицы.

ППП 6 – центральная часть США, Мичиган, г. Анн Арбор, островной парк, река Гурон. Топо-

графия – крутой склон берега реки. Почва – песчаный суглинок, рН=7,0.

Тип экотопа – нарушенная с примесью клена и липы. Нарушенность – 50% (сильная степень нарушения людьми и оленями). Состояние экотопа – нестабильное. На ППП 6 преобладают травянистые растения (9 видов), а наименьшая численность видов отмечена для подраста (1 вид) (табл. 11).

На рис. 4 представлено соотношение количества видов различных ярусов на изученных ППП. На исследованных участках (за исключением ППП 4, где отмечалась максимальная доля видов кустарникового яруса) преобладают травянистые растения, а наименьшая доля видов отмечена для взрослых деревьев.

Из представленного графика видно, что в естественном ареале жостер произрастает в лесных ценозах с возобновляемым древесным ярусом, хорошо выраженным кустарниковым ярусом и преобладанием в спектре видов травяного яруса.

Таблица 10. Структура фитоценоза на ППП 5, где проведена борьба с жостером

Table 10. Phytocoenosis structure at PSP 5, where common buckthorn control measures were taken

Подрост Undergrowth	Кустарниковый ярус Shrub layer	Травяной ярус Herb layer	
<i>Prunus serotina</i> <i>Quercus rubra</i> <i>Tilia americana</i> <i>Fraxinus</i> <i>pensylvanica</i>	<i>Rhamnus cathartica</i> 120–130/1–15 <i>Frangula alnus</i> 100/2 <i>Lonicera caerulea</i> 30/2 <i>Vitis riparia</i> 40/4 <i>Juniperus virginiana</i> 15/1 <i>Parthenocissus quinquefolia</i> <i>Corylus americana</i> 90/2	<i>Elymus</i> sp. 110/60 <i>Dactylis glomerata</i> 50/3 <i>Elymus hystrix</i> 140/3 <i>Euphorbia esula</i> 80/2 <i>Solanum dulcamara</i> 60/5 <i>Maianthemum racemosum</i> 15/2 <i>Plantago major</i> 15/2 <i>Hieracium</i> sp. 40/3 <i>Ambrosia artemisiifolia</i> 10/1 <i>Linaria vulgaris</i> 10/1 <i>Bouteloua curtipendula</i> 60/3 <i>Arctium minus</i> 20/1 <i>Carex pensylvanica</i> 15/2 <i>Asclepias syriaca</i> 110/3 <i>Aster</i> sp. 1 20/2 <i>Aster</i> sp. 2 70/3 <i>Phalaris arundinacea</i> 100/1	<i>Xanthoxalis</i> sp. 10/2 <i>Galium</i> sp. 10/2 <i>Sorghastrum nutans</i> 140/4 <i>Andropogon gerardii</i> 140/4 <i>Solidago canadensis</i> 120/2 <i>Verbena</i> sp. 90/1 <i>Trifolium pratense</i> 20/2 <i>Taraxacum officinale</i> 15/1 <i>Echinacea</i> sp. 80/1 <i>Polygonatum biflorum</i> 15/<1 <i>Viola sororia</i> 10/3 <i>Achillea millefolium</i> 50/1 <i>Rudbeckia</i> sp. 40/1 (R) <i>Phleum pratense</i> 80/2

Таблица 11. Структура фитоценоза на ППП 6

Table 11. Phytocoenosis structure at PSP 6

Древесный ярус Tree layer	Подрост Undergrowth	Кустарниковый ярус Shrub layer	Травяной ярус Herb layer
<i>Acer saccharum</i> <i>Quercus bicolor</i>	<i>Tilia americana</i>	<i>Rhamnus cathartica</i> 5% <i>Lonicera maackii</i> ; <i>Syringa vulgaris</i> ; <i>Frangula alnus</i> <i>Toxicodendron radicans</i> 20/ 2 <i>Parthenocissus quinquefolia</i>	<i>Herperes pirella</i> 80/ <1 <i>Carex pensilvanica</i> 20/<1 <i>Daucus carota</i> 15/<1 <i>Leonurus cardiaca</i> 15/<1 <i>Oxalis</i> sp. 15/<1 <i>Cichorium intybus</i> 50/<1 <i>Euthamia graminifolia</i> 40/<1 <i>Solidago canadensis</i> 25/<1 <i>Elymus americana</i>

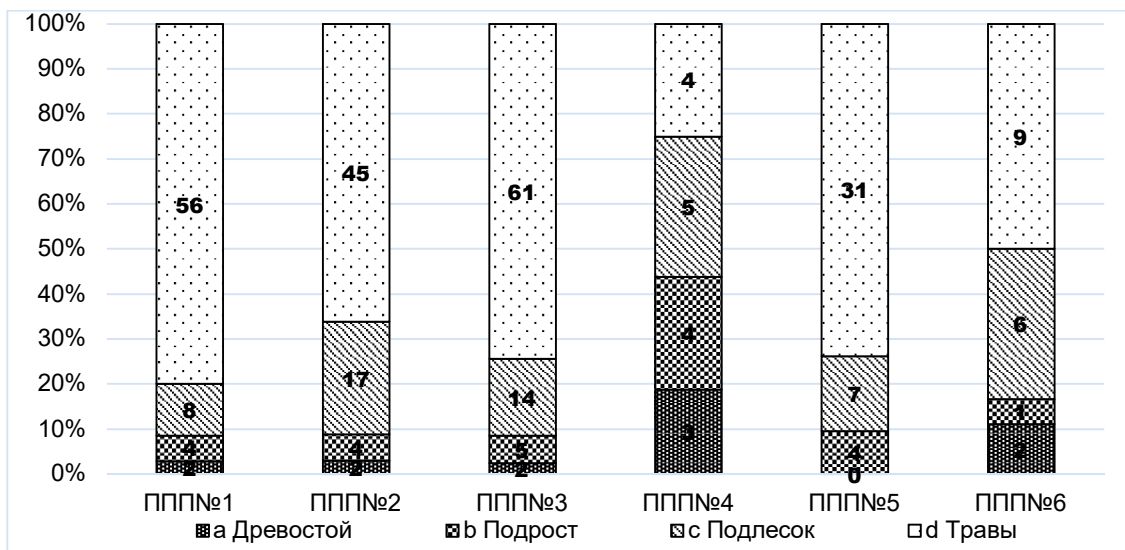


Рис. 4. Доля участия видов различных ярусов в структуре фитоценозов: а – древостой, б – подрост, с – подлесок, d – травы

Fig. 4. The share of various layer species in phytocoenoses structure: a – mature trees, b – undergrowth, c – shrub layer, d – herb layer

Во вторичном ареале структура фитоценозов иная: преобладающим ярусом является кустарниковый, в этот же по высоте ярус входит и подрост древесных пород. Вследствие этого участок сильно затеняется, что приводит к существенно сокращению участия травянистых видов в фитоценозе, подвергнувшись инвазии жостера.

Там, где проводится борьба с инвазией жостера, структура растительного сообщества имеет тенденцию возврата к оптимальному соотношению ярусов, характерному для сообществ естественного ареала, а число видов травяного яруса увеличивается в 8 раз!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В белорусских популяциях жостера слабительного наблюдается довольно сильная конкурентная борьба между видами – элементами экосистемы, которая сложилась на протяжении длительного периода времени. Поэтому соотношение между различными по возрасту экземплярами жостера довольно постоянно. В условиях вторичного ареала и нарушенности экотопов (США) межвидовые устойчивые связи не реализуются в полной мере, и тогда наблюдается значительное количество ювенильных особей вида (до нескольких десятков на квадратный метр, что не регистрируется в Беларуси). Устойчивость межвидовых связей – основа умеренной и постоянной численности жостера.

Rh. cathartica на Среднем Западе США создает мозаичность в сообществах. Она наблюдалась при оценке биоразнообразия экотопа и анализе напочвенного покрова. В местах наибольшей концентрации жостера (ППП 4) наблюдаются заросли этого кустарника. Травяной ярус в зоне влияния фитогенного поля вида сильно обеднен по видовому составу и менее обилен, в то время как вне зоны влияния жостера наблюдается более высокое проективное покрытие травяного яруса и его более высокое видовое разнообразие. Некоторые виды произрастают в фитогенном поле жостера в меньшем количестве, нежели в местах его отсутствия, что возможно связано с аллелопатическим эффектом. Предложенная в ЛАУМ стратегия борьбы с жостером слабительным в США должна быть направлена, в первую очередь, на постоянное удаление на участках малолетних особей жостера (возраст от 1 года до 5 лет). Таким образом, показано, что *Rh. cathartica*

в США активно внедряется в антропогенно нарушенные участки, и при отсутствии мер контроля растения постепенно формируют сплошные заросли.

Высокая концентрация жостера влияет на естественное биоразнообразие сообществ, что подтверждается корреляционным и кластерным анализом. Число видов деревьев на пробных площадях варьировало от 0 до 3. Число видов кустарниковых растений на пробных площадях составляет от 17 (ППП 2, РБ) до 6 (ППП 6, США). Число видов травяного яруса варьировало от 61 (ППП 3, РБ) до 4 (ППП 4, США). Зависимость видового состава от внедрения жостера слабительного проявляется в снижении числа видов на ППП в зависимости от увеличения сомкнутости крон этого инвазивного вида. Таким образом, более разнообразным по видовому составу оказалось сообщество на площадке, где жостер не доминирует (ППП 2, ППП 3), а в меньшей степени видовое разнообразие отмечается на площадке с максимальным его присутствием (ППП 4).

Внедрение жостера в естественные фитоценозы США снизило в них численность кустарников и травянистых растений. Это указывает на то, что жостер слабительный способствует снижению естественного разнообразия сообществ, особенно видов травяного яруса. Утрата биологического разнообразия ведет к ухудшению экономического, социального и экологического благополучия с очевидными последствиями для качества жизни человека. Знакомство с мерами сохранения естественного биологического разнообразия помогут сохранить наши аборигенные растения и наши ландшафты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», задания 6.2., при поддержке комиссии по инвазионным видам Научного Совета ботанических садов стран СНГ при МААН (программа ГБС РАН № 122042600141–3). Авторы выражают благодарность П. Мо, А. Бранхагену и А. Резниченко за разрешение проводить совместные исследования, помощь в сборе и анализе образцов, описании растительных сообществ Миннесоты и Мичигана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sol, D. Unraveling the life history of successful invaders / D. Sol [et al.] // *Science*. – 2012. – Т. 337. – №. 6094. – P. 580–583.
2. Hejda, M. Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities / M. Hejda, P. Pysek, V. Jarosik // *Journal of ecology*. – 2009. – Т. 97. – №. 3. – P. 393–403.
3. Powell, K. I. Invasive plants have scale-dependent effects on diversity by altering species-area relationships / K. I. Powell, J. M. Chase, T. M. Knight // *Science*. – 2013. – Т. 339. – № 6117. – P. 316–318.
4. Worz, A. The temporal dynamics of a regional flora –The effects of global and local impacts / A. Worz, M. Thiv // *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. – 2015. – Т. 217. – P. 99–108.
5. Richardson, D. M. Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographical patterns / D. M. Richardson, P. Pysek // *New Phytologist*. – 2012. – Т. 196. – №. 2. – P. 383–396.
6. Pysek, P. Spatio-temporal dynamics of plant invasions: linking pattern to process / P. Pysek, P. E. Hulme // *Ecoscience*. – 2005. – Т. 12. – №. 3. – P. 302–315.
7. Виноградова, Ю. К. Снижение естественного биоразнообразия фитоценозов как результат внедрения чужеродных инвазионных видов / Ю. К. Виноградова [и др.] // *Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы VII Международной научной конференции / Мар. гос. ун-т; отв. ред.: Г. О. Османова, Л. А. Животовский. – Йошкар-Ола: ООО «Вертола», 2019. – С. 120–124.*
8. Barney, J. N. What is the real impact of invasive plant species / J. N. Barney [et al.] // *Front. Ecol. Environ.* – 2013. – Vol. 11, № 6. – P. 322–329.
9. Florianova, A. Invasive *Impatiens parviflora* has negative impact on native vegetation in oak-hornbeam forests / A. Florianova, Z. Munzbergov // *Flora*. – 2017. – Т. 226. – P. 10–16.
10. Dubovik, D.V. The invasiveness of *Solidago canadensis* in the sanctuary «Prilepsky» (Belarus) / D.V. Dubovik [et al.] // *Nature Conservation Research*. – 2019. – Vol. 4. № 2. – P. 48–56.
11. Vila, M. Plant invasions in the landscape / M. Vila, I. Ibanez // *Landscape ecology*. – 2011. – Т. 26. – P. 461–472.
12. Chytry, M. Projecting trends in plant invasions in Europe under different scenarios of future land-use change / M. Chytry [et al.] // *Global Ecology and Biogeography*. – 2012. – Т. 21. – №. 1. – P. 75–87.
13. Алексеев, Ю. Е. Сем. *Rhamnaceae* Juss.— Крушиновые / Ю.Е. Алексеев, Н.Н. Цвелёв // *Флора Восточной Европы. – Под ред. Н. Н. Цвелёва. – Мир и семья-95. – Санкт-Петербург. – Т. 9. – С. 392–398.*
14. van Boheemen, L. A. Rapid and repeated local adaptation to climate in an invasive plant // L. A van Boheemen, D. Z. Atwater, K. A Hodgins // *New Phytologist*. – 2019. – Vol. 222, № 1. – P. 614–627.
15. *Flora of North America. – Vol. 12 Rhamnaceae.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=10763. – Дата доступа: 12.04.2023.
16. Kliensky, S. M. Above- and belowground impacts of European buckthorn (*Rhamnus cathartica*) on four native forbs / S. M. Kliensky, K. L. Amatangelo, D. M. Waller // *Restoration Ecology*. – Vol. 19, № 6. – 2011. – P. 728–737.
17. Gilad, N. L. Evidence for hybridization of two Old World *Rhamnus* species – *R. cathartica* and *R. utilis* (*Rhamnaceae*) – in the New World // N. L. Gilad, A. A. Reznicek // *Rhodora*. – 1997. – P. 1–22.
18. Kurylo, J. *Rhamnus cathartica*: notes on its early history in North America / J. Kurylo, A. Endress // *Northeast Nat* 19. – 2012. – P. 601–610.
19. Куликова Г. Г. Основные геоботанические методы изучения растительности / Г. Г. Куликова; под ред. А. К. Тимонина. – Москва: изд-во МГУ, 2006. – 152 с.
20. Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева [и др.]. – СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. – 240 с.
21. Miller, D. Genetic and Ecological Comparisons between Belarus and Upper Midwest Populations of *Rhamnus cathartica* // D. Miller [et al.] / *Sharing Innovative and Practical Solutions. Abstracts of 2018 Upper Midwest Invasive Species Conference – North American Invasive Species Management Association (UMISC – NAISMA 2018), Rochester, Minnesota, US, October 15–18. – 2018. – P. 19–20.*
22. Blossey, B. Evolution of Increased Competitive Ability in Invasive Nonindigenous Plants: A Hypothesis / B. Blossey, R. Notzold // *Journal of Ecology*. – 1995. – Vol. 83, № 5. – P. 887–889.

Поступила в редакцию 12.04.2023 г.

УДК 574.4; 630*6

Л. И. СТАРИКОВА¹, М. В. ЕРМОХИН¹, А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ¹, В. С. ИВКОВИЧ²

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ВЫСОКОВОЗРАСТНЫХ ДРЕВОСТОЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* Roth.) В БЕРЕЗИНСКОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

¹Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: liliya.star18@gmail.com

²Березинский биосферный заповедник, д. Домжерицы, Лепельский район, Витебская область, Беларусь

Аннотация. Рассмотрены особенности динамики древостоев, структуры подроста и подлеска в высоковозрастных повислоберезовых лесах на территории Березинского биосферного заповедника. Установлено, что основной период распада повислоберезовых насаждений в естественных условиях приходится на возраст около 130 лет. Следующим этапом сукцессии является формирование ельников, в березняках старше 50 лет выражены второй ярус древостоя с доминированием ели. В березняках кисличных и орляковых к 80–100 годам в составе подроста и нижних ярусов древостоя появляются клен, липа, дуб, что свидетельствует о возможном восстановлении коренных елово-широколиственных лесов через последовательные стадии березняков и ельников.

Ключевые слова: береза повислая, высоковозрастные древостои, естественные сукцессии, елово-широколиственные леса.

L. I. STARIKOVA¹, M. V. YERMOKHIN¹, A. V. PUGACHEVSKY¹, V. S. IVKOVICH²

DYNAMICS OF THE HIGH-AGE STANDS OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* Roth.) STRUCTURE IN THE BEREZINSKY BIOSPHERE RESERVE

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: liliya.star18@gmail.com

²Berezinski biosphere reserve, Domzherithy, Lepelski district, Vitsebski region, Belarus

Annotation. The features of the stands dynamics, the structure of undergrowth and understory in high-aged birch forests on the territory of the Berezinsky Biosphere Reserve are discussed. The main period of the birch stands breakdown under natural conditions going on the age around 130 years. The next stage of succession is the formation of spruce forests. Birch forests older than 50 years have the closed second layer with spruce. Maple, linden, and oak appear in the undergrowth and lower stand layers in the *Betuletum oxalidosum* and *B. pteridiosum* forest types in the age of 80–100 years. It indicates the possible restoration of primary spruce-broadleaved forests through the successive stages of birch and spruce forests.

Keywords: silver birch, high-age stand, natural successions, restoration, spruce-broadleaved forests.

ВВЕДЕНИЕ

Формация березовых лесов широко распространена в Беларуси и по площади (1,9 млн. га) занимает второе место после сосновых лесов. На их долю приходится 23,4% лесопокрытой площади [1]. В суходольных березняках эдификатором выступает береза повислая (*Betula pendula* L.), где она формирует насаждения, производные от хвойных или широколиственных лесов. Преобладающими в условиях Республики Беларусь являются березняки папоротниковые (18,9%), черничные (18,6%), кисличные (16,7%) и орляковые (12,3%) [2].

В большинстве своем повислоберезовые леса занимают участки на месте бывших вырубок или

сельскохозяйственных земель. За пределами особо охраняемых природных территорий легкая доступность приводит к практически полному отсутствию высоковозрастных повислоберезовых лесов, которые вырубаются по достижении возраста спелости в 61–70 лет. При этом березняки и в целом мелколиственные насаждения являются одной из обязательных стадий в процессе естественного формирования коренных лесов.

Типология березовых лесов наиболее сложная по сравнению с другими лесными формациями. Это сложность обусловлена прежде всего тем, что березовые леса включают две экологически разные лесные формации (с доминирова-

нием *Betula pendula* или *Betula pubescens*), а структура формации повислоберезовых лесов усложняется тем, что береза повислая образует производные фитоценозы в очень широком экологическом спектре: она способна замещать практически все типы сосновых, еловых и дубовых лесов [3].

Было установлено, что зональные особенности березовых лесов, в зависимости от того, какие коренные фитоценозы они сменили, фитоценотически проявляются лишь в нижних ярусах.

По этим признакам производные смешанные повислоберезовые фитоценозы подразделяются на елово-березовые, елово-грабово-березовые и дубово-грабово-березовые [4]. В учебниках по лесоведению указано, что к возрасту 40–50 лет береза достигает высоты 20–25 м и замедляет свой рост. Начинается естественное изреживание их древостоев. Ель, которая появилась под пологом березы, к этому времени вступает в период наиболее интенсивного роста и выходит во второй ярус. К 80–100 годам полог лиственных пород, как менее долговечных, изреживается и ель занимает их место [5]. Аналогичным путем береза сменяет дубовые леса, однако процесс восстановления последних до сих пор слабо изу-

чен, поскольку на это требуется не одно поколение производных древостоев [6].

Основная масса исследований березовых насаждений (не только на территории Беларуси) посвящена изучению типологии, технологий рубок, изменения таксационных показателей и закономерностей роста древостоев березы [3, 4, 7] преимущественно до возраста рубки главного пользования (до 70 лет). В то же время, исследования, посвященные сукцессиям в высоковозрастных березовых лесах, не затронутых хозяйственной деятельностью, немногочисленны, а для многих регионов и вовсе отсутствуют. В некоторой степени вопросы естественной динамики березняков в Беларуси на поздних стадиях сукцессий освещены в работе И. Д. Юркевича и др. [4], а оценка изменений в структуре высоковозрастных березняков орляковых по материалам долговременных наблюдений представлена только в работе Л. В. Федоровича и др. [8].

Из вышеперечисленного следует, что открытыми остаются вопросы динамики структуры высоковозрастных древостоев с преобладанием березы, оценки возраста их распада, смены пород, потенциала для формирования широколиственных лесов и др.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования структуры фитоценозов и ее динамики проведены в высоковозрастных (возраст древостоев – 80–120 лет) повислоберезовых лесах Березинского биосферного заповедника. Схема размещения объектов на территории заповедника представлена на рис. 1. Характеристика объектов исследования приведена в табл. 1 и 2.

Объекты для полевых исследований были подобраны на основе плана насаждений и базы данных лесоустройства Березинского биосферного заповедника 1976 г. Из них были отобраны насаждения старше 50 лет с преобладанием березы повислой.

Соответственно на момент нашего исследования в 2021–2022 гг. им должно было быть не меньше 95 лет. В предыдущем исследовании [9] мы показали изменения, которые произошли на этих участках в соответствии с материалами базового лесоустройства 1976 и 2018 гг. Однако они показывают только изменения, которые происходят в первом ярусе древостоя и не позволяют оценить всю структуру фитоценозов.

Для проведения полевых исследований в наиболее старых (по данным на 1976 г.) древостоях березы повислой были заложены 16 временных пунктов учета (ВПУ) в мшистой (*Betuletum pleuroziosum*), орляковой (*B. pteridiosum*) и кисличной

(*B. oxalidosum*) сериях типов леса. В анализ также были вовлечены материалы исследований динамики насаждений на двух постоянных пробных площадях (ППП) в кисличной серии типов леса, заложенных в 1981 г. (ППП 019) и 2001 г. (ППП 205) специалистами научного отдела заповедника.

На ВПУ, которые представляют собой линейные пробные площади размером 100 м² (2х50 м), определен породный состав, структура, состояние древостоев, выполнено описание подроста, подлеска и живого напочвенного покрова в соответствии с разработанной методикой [10]. Состояние деревьев оценивали по шкалам состояния деревьев, приведенным в Санитарных правилах в лесах Республики Беларусь [11]. Для уточнения таксационных показателей у трех средних деревьев преобладающей породы (для каждого яруса) измеряли диаметр ствола на 1,3 м и высоту. Средний возраст древостоя определяли по кернам древесины отобраным приростным буром у этих же трех деревьев на высоте 1,3 м с корректировкой возраста на высоту отбора образца [12]. Учет подроста проведен на всей площади ВПУ с распределением по породам, четырем группам высот (0,2–1,0 м; 1,1–1,5 м; 1,6–2,0 м и более 2,0 м) и трем группам состояния: (1 – здоровый, 2 – угнетенный, 3 – усыхающий).

Для подлеска определяли породный состав, среднюю высоту и густоту.

Описание живого напочвенного покрова выполнено глазомерно на всей площади ВПУ с определением видового состава и обилия по шкале Браун-Бланке [13]. Идентификация типов леса выполнена в соответствии с теоретическими работами белорусских лесотипологов [14, 15].

Отнесение фитоценоза к тому или иному типу леса уточняли методом фитоиндикации по шкалам Элленберга [16].

Описание состава и структуры древостоев на ППП и обработка материалов выполнены в соот-

ветствии с общепринятыми методиками [17, 18] с определением породы, состояния, диаметра стволов деревьев на высоте 1,3 м, высоты стволов и начала кроны. Учет подроста и подлеска, выполнен на двух трансектах, заложенных вдоль длинной стороны пробной площади, по аналогии с ВПУ. Описание живого напочвенного покрова выполнено на не менее, чем 20 учетных площадках размером 1x1 м с указанием вида растения и его проективного покрытия в процентах. Тип леса определяли по тем же методикам, что и для ВПУ. Характеристика фитоценозов на объектах исследования см. в табл. 1 и 2.

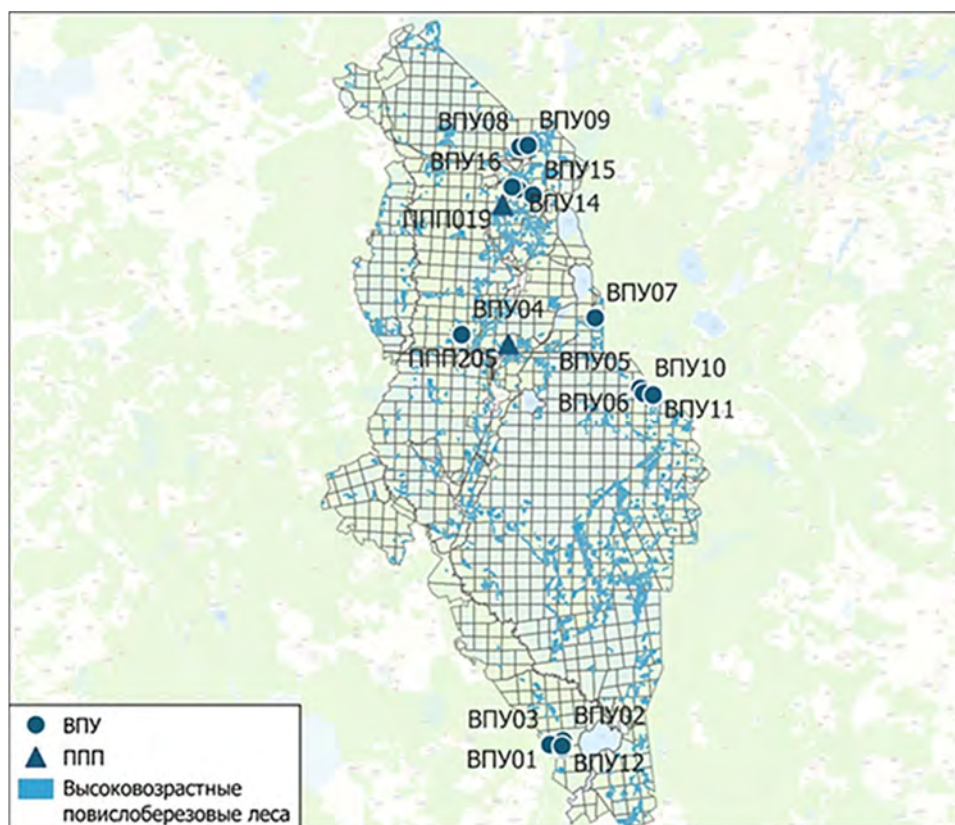


Рис. 1. Схема размещения объектов исследования

Fig. 1. Research sites location

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашей предыдущей работе [9], выполненной по материалам двух туров базового лесоустройства (1976 и 2018 гг.) было показано, что на территории Березинского заповедника в повислоберезняках наблюдаются демулационные процессы, в ходе которых идет восстановление коренных еловых, широколиственных или елово-широколиственных лесов. Основной период распада повислоберезовых насаждений в орляковой и кисличной сериях типов леса в естественных условиях приходится на возраст около 120–130 лет, а не 80–100, как принято обычно считать.

Во время проведения полевых работ было установлено, что типы леса, указанные в материалах лесоустройства, во многих случаях не соответствуют действительности. По данным лесоустройства 2018 г., насаждения на ВПУ относятся к березнякам черничным, орляковым, кисличным, мшистым, крапивным, папоротниковым. Исходя из материалов наших полевых исследований, все объекты относятся всего к трем сериям типов леса: кисличной (67% ВПУ), орляковой (16,5%) и мшистой (16,5%).

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоя на ВПУ 1–16, ППП 019, ППП 205 за 1976 и 2022 гг.

Table 1. Description of the forest stands at TPA 1–16, PP 019, PP 205 in 1976 and 2022

№ ВПУ / ППП No TPA / PP	Возраст, лет Age, years	Бывшая категория земель Former land category	Состав 1 яруса в 1976 г. (по материалам лесоустройства) Composition of the first layer in 1976 (based on the materials of the state forest inventory)	Состав 1 яруса в 2022г. Composition of the first layer in 2022	Категория состояния Stand's state category	Состав 2 яруса в 2022 г. Composition of the second layer in 2022
Мшистая серия типов леса						
ВПУ05	115	Лес	5БП3ОС2Е	6БП3Ос1Е	2,5	10Е
ВПУ06	115	Лес	5БП1ОС1ОЛЧ3Е	4Е4БП2С+Ос	1,6	9Е1БП
ВПУ11	105	Лес	7БП1С2Е	9БП1Е	1,9	10Е
Орляковая серия типов леса						
ВПУ02	120	с/х	6БП3ОЛЧ1Е	6БП3Е1С	1,5	8Е2Олч
ВПУ10	110	Лес	7БП1С2Е	5БП4Е1С+Олч	1,6	7Е3БП+Олч
ВПУ13	95	с/х	9БП1ОЛЧ+Е, Д,ОС	6БП3Е1Лп+С	1,4	10Е
Кисличная серия типов леса						
ППП019	81	с/х	8БП2С+С	6БП4Е+Лп, С, Кл, ед. Ос	1,5	5Е2Лп1БП1Ря 6 + Кл, С
ППП205*	80	с/х	9БП1С	6БП4С, ед. Е	1,1	8Е1БП1С
ВПУ01	90	Лес	9БП1ОС	4БП2Ос4Е	2,2	6Е2Олч2Кл
ВПУ03	90	с/х	7БП1ОС2Е	4БП3Ос2Е1Олч	1,6	10Е
ВПУ04	100	Лес	8БП2ОЛС+С, Е	7БП2Е1Ос	1,8	10Е
ВПУ07	115	Лес	5БП3Е2ОС	7Е2БП1Олч+Д	1,3	5Е3Олч2Кл
ВПУ08	105	Лес	5БП3Е2С	4БП3Е3С	1,2	–
ВПУ09	100	Лес	8БП2ОС	5БП3С2Е+Ос	1,5	8Е1Ос1БП
ВПУ12	95	с/х	7БП2ОС1Е	6БП4Е	1,1	6Е3Олс1Кл
ВПУ14	105	с/х	4БП2ОС1Е2ОЛС1С	7БП3Е+Ос	1,4	–
ВПУ15	100	с/х	5БП3С1С1Е	4БП4С2Ос	2,3	10Е
ВПУ16	90	Лес	5БП2ОС2С1Е	6БП2С1Е1Олс	1,2	7Олс3БП

* в насаждении выделено 4 яруса: 3 ярус – 9Е1БП, 4 ярус – 10Е.

Для общего анализа 3-й ярус был объединен со 2-м, 4-й ярус – с подростом.

Это хорошо подтверждается распределением фитоценозов по экологическим шкалам Элленберга (рис. 2). В осях влажности и богатства почвы азотом все фитоценозы (за исключением трех наиболее бедных и сухих) сконцентрированы в одном месте. Балл по шкале влажности колеблется в пределах 4,9–5,2, а по шкале богатства почвы азотом – 3,8–5,0. Различия в составе живого напочвенного покрова в значительной степени связаны с густотой подроста и второго яруса ели, что хорошо видно в распределении фитоценозов по шкале кислотности.

Кластеризация описаний флористического состава фитоценозов, выполненная методом Варда (рис. 3), также показывает, что объекты исследования можно объединить в две крупные группы. К первой группе относятся ВПУ 05, 06, 11 с близкими условиями произрастания, что соответствует мшистой серии типов леса, ко второй группе – все остальные, которые соответствуют кисличной и орляковой сериям типов леса. Для них, в свою очередь, характерен более широкий спектр условий произрастания и боль-

шее разнообразие видов в живом напочвенном покрове.

Большинство березняков (89%) за прошедшее время сохранилось березняками несмотря на высокий возраст (см. табл. 1). Только в двух насаждениях (возрастом 90 и 115 лет) произошла смена главной породы на ель, но доля березы остается высокой (40% и 20% соответственно). В составе насаждений, которые сохранились березняками, в 67% случаев доля березы уменьшилась. Наиболее заметное снижение доли березы отмечено в древостоях в 1976 г. (8–9 единиц).

Изменения в составе древостоя первого яруса (рис. 4) показывают, что доля березы постепенно сокращается от 30 до 120 лет. В 30-летнем насаждении она составляла около 8 единиц, а к 120 годам уменьшилась до 5–6 единиц. Т.е. в среднем до этого возраста березняки все еще сохраняются березняками. Одновременно доля ели в составе выросла с 1 до 4 единиц. Если данная тенденция продолжится, то к достижению 130–140 лет доля березы и ели в составе сравняется и березняки трансформируются в ельники. Это подтверждает

результаты, полученные при анализе материалов лесоустройства [9], но отодвигает возраст распада березняков до 130 лет. Доля остальных пород в составе древостоев (за исключением ольхи серой) остается практически без изменений и сохраняется на уровне 1–3 единиц.

В описаниях древостоев 1976 г. в березняках не указывалось наличие второго яруса и подроста. Поэтому ниже рассматриваются изменения в составе второго яруса и подроста только по нашим исследованиям на ВПУ в древостоях 80–120-летнего возраста.

Почти во всех исследованных древостоях (в 89%) нами было выделено два или более ярусов

(см. табл. 1). Во втором ярусе постоянно присутствуют ель (*Picea abies*), береза повислая и клен (*Acer platanoides*), кроме того на отдельных ВПУ встречались липа (*Tilia cordata*), ольха черная (*Alnus glutinosa*) и серая (*A. incana*), осина (*Populus tremula*) и сосна (*Pinus sylvestris*). В составе второго яруса доминирует ель (рис. 5, см. табл. 1), при этом ее доля сохраняется постоянной в пределах 7–8 единиц в 80–120-летних древостоях. Доля клена и березы повислой колеблется в пределах 1–2 единиц. Причем береза второго яруса – это отставшие в росте деревья того же поколения, что и деревья первого яруса, а клен – деревья, появившиеся и выросшие уже под пологом березняков.

Таблица 2. Характеристика подроста и подлеска на ВПУ 1–16, ППП 019, ППП 205 за 1976 и 2022 гг.

Table 2. Description of understory and undergrowth at TPA 1–16, PP 019, PP 205 in 1976 and 2022

№ ВПУ / ППП No TPA / PP	Возраст, лет Age, years	Бывшая категория земель Former land category	Состав подро- ста Composition of understory	Кол-во подроста, шт./га Amount of understory, pieces/ha	Средняя вы- сота под- роста, м Average height of un- derstory, m	Состав подлеска Composition of under- growth	Кол-во подлеска, шт./га Amount of under- growth, pieces/ha	Средняя вы- сота под- леска, м Average height of un- dergrowth, m
Мшистая серия типов леса								
ВПУ05	115	Лес	9Кл1Е	3600	1,0	3Ряб3Волч3 Лщ1Крл	1200	1,2
ВПУ06	115	Лес	8Е2Д	1000	0,7	6Ряб4Крл	1600	0,7
ВПУ11	105	Лес	10Е	1100	1,1	6Ряб4Крл	1200	1,0
Орляковая серия типов леса								
ВПУ02	120	с/х	5Е4Д1Лп	2400	1,1	8Лщ1Крл1Р яб	5800	1,5
ВПУ10	110	Лес	9Е1Д	4500	1,0	6Крл4Ряб + Лщ	5300	1,2
ВПУ13	95	с/х	6Е4Кл	700	1,0	6Ряб2Лщ2К рл	4800	1,1
Кисличная серия типов леса								
ППП019	81	с/х	6Ос1Лп1Кл1Б П1Е	950	1,6	10Лщ	4600	3,0
ППП205	80	с/х	10Е	1300	1,2	5Р3Лщ2Крл	4400	0,9
ВПУ01	90	Лес	7Лп2Кл1Е+Д	2000	1,3	6Ряб3Лщ1К рл	3500	1,7
ВПУ03	90	с/х	10Е	1800	0,9	5Ряб3Крл2Л щ	5300	1,3
ВПУ04	100	Лес	4Е3Лп3БП	1200	0,8	7Лщ2Крл1Р яб	1200	0,8
ВПУ07	115	Лес	7Кл2Е1Олч+Д	6900	0,9	10Ряб	500	1,2
ВПУ08	105	Лес	4Е4Д2Кл	1100	0,7	5Ряб3Крл2Л щ	7900	0,9
ВПУ09	100	Лес	10Кл	400	0,8	8Лщ2Крл2Ж им	8100	1,2
ВПУ12	95	с/х	8Кл1Е1Лп+ Д	2800	1,0	9Ряб1Лщ	2000	1,2
ВПУ14	105	с/х	10Е	600	0,7	7Лщ3Волч	600	1,1
ВПУ15	100	с/х	10Кл	3200	0,6	9Лщ1Ряб	1100	0,8
ВПУ16	90	Лес	7Д3Е	300	0,6	7Лщ1Ряб1К рл1Волч	1400	0,8

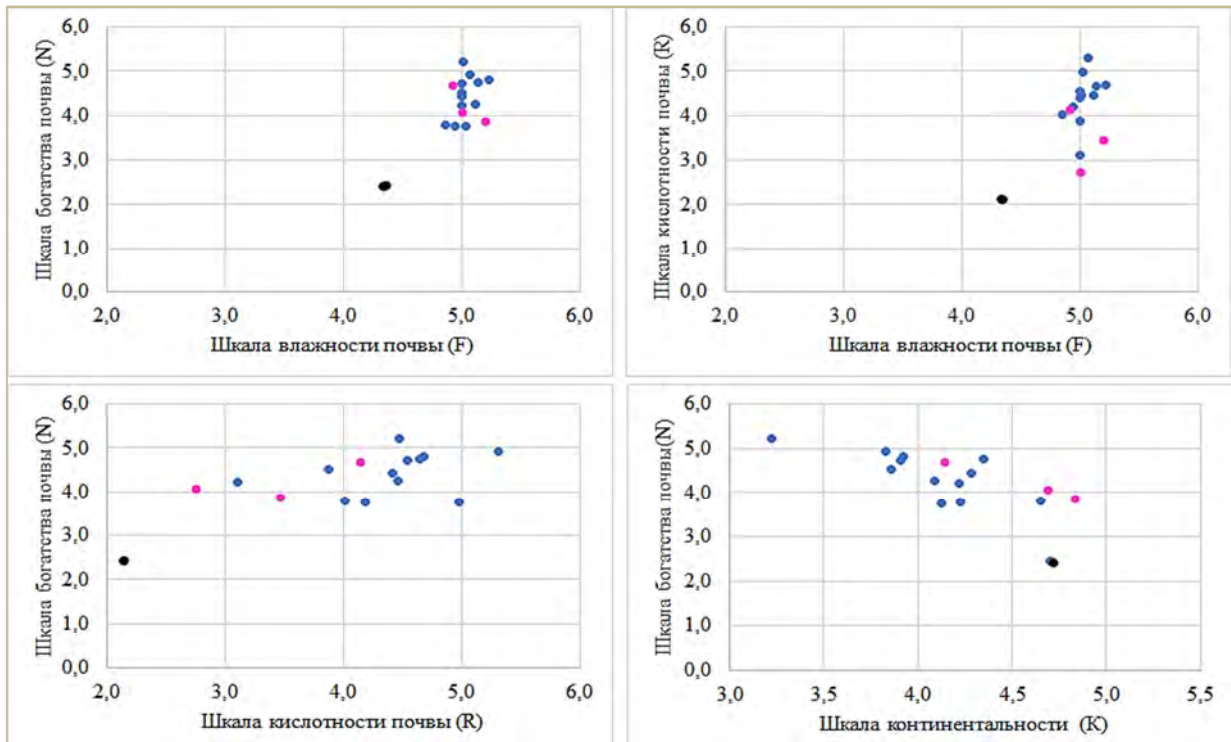


Рис. 2. Распределение объектов исследования по экологическим шкалам Элленберга (средний балл рассчитан только для живого напочвенного покрова). Синим цветом показаны участки, отнесенные к кисличной серии типов леса, розовым – орляковой, черным – мшистой

Fig. 2. Distribution of the forest stands according to the Ellenberg ecological scales (the average score is calculated only for live ground cover). The blue color shows the areas assigned to the *oxalidosum* series of forest types, pink – *pteridiosum*, black – *pleuroziosum*

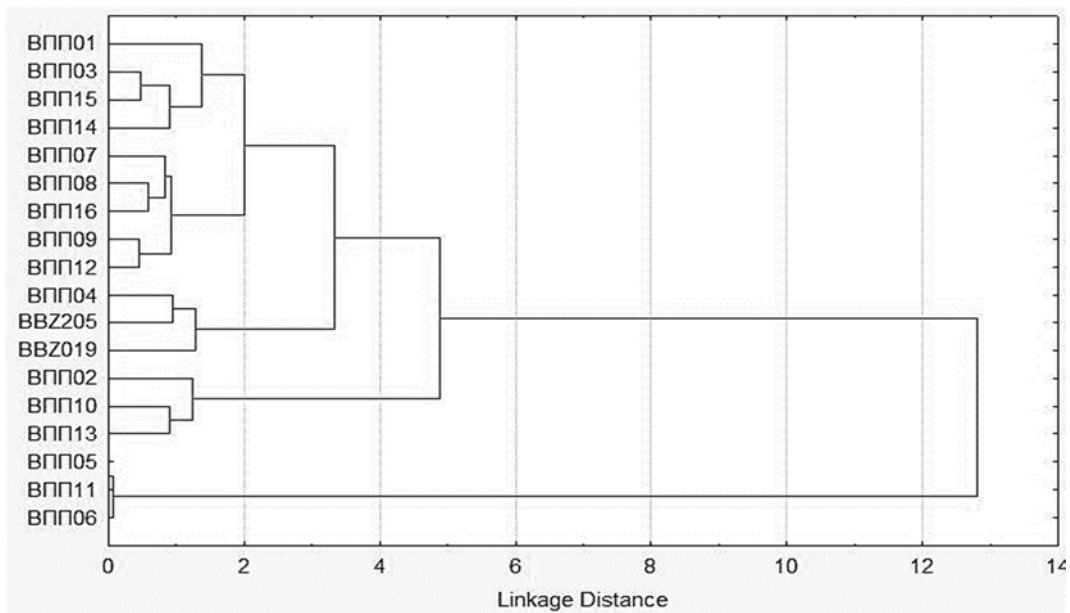


Рис. 3. Деление объектов исследования на кластеры

Fig. 3. Distribution of the forest stands by clusters

Более заметные изменения происходят в составе и количестве подроста (рис. 6, 7, см. табл. 2). Его состав менее разнообразен, чем состав второго яруса. Здесь отмечено всего семь древесных

пород. Четыре из них (ель, клен, дуб (*Quercus robur*), клен) встречаются в большинстве высоковозрастных насаждений, а три (береза повислая, ольха черная, осина) – на отдельных ВПУ.

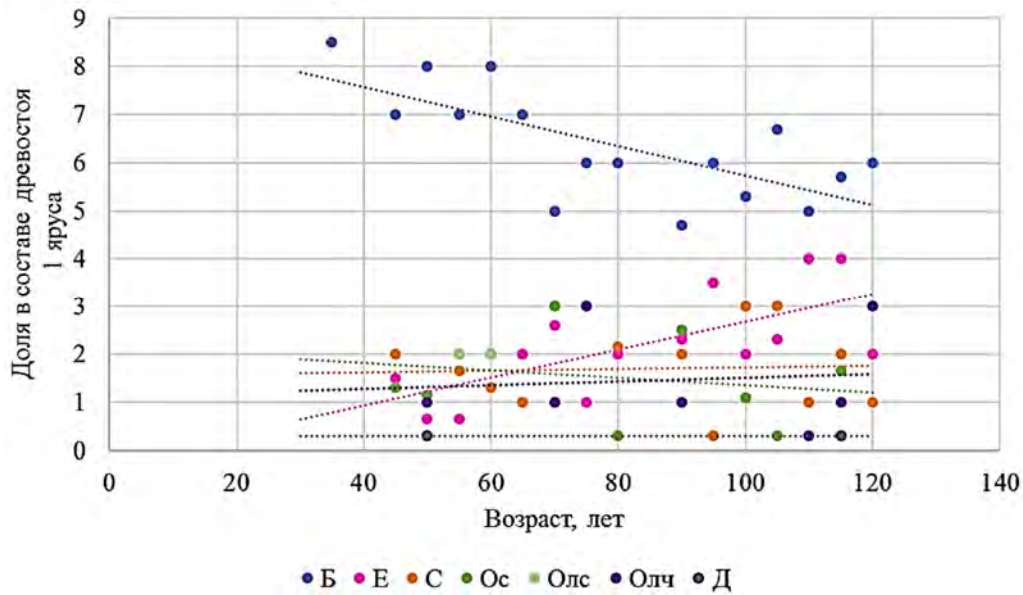


Рис. 4. Изменения в породном составе древостоев 1 яруса

Fig. 4. Changes in the species composition of the first layer of forest stands

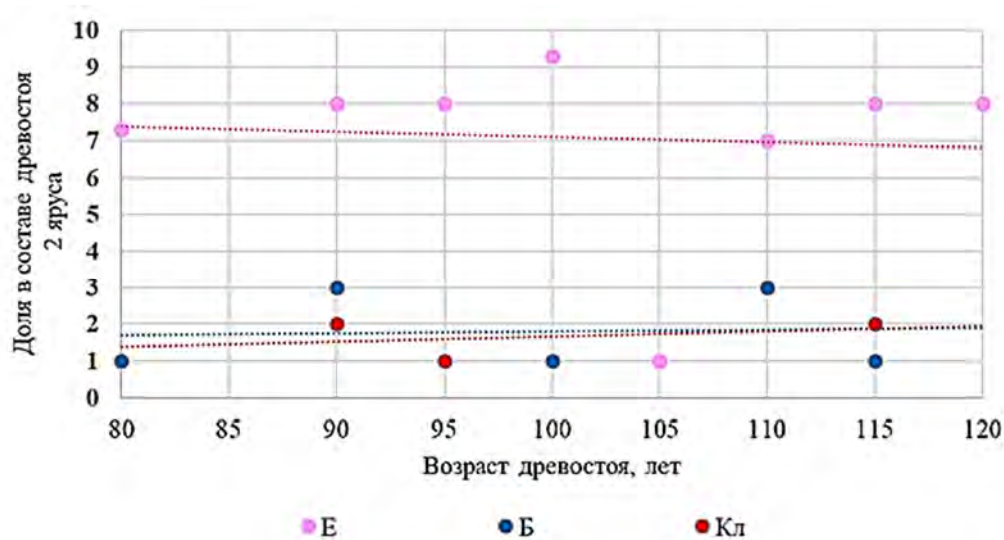


Рис. 5. Изменения в породном составе 2-го яруса древостоев (среднее по 5-летиям)

Fig. 5. Changes in the species composition of the second layer of forest stands (average for 5 years)

Доля ели в подросте сохраняется постоянной на уровне около 6 единиц (см. рис. 6) при изменении возраста насаждений с 80 до 120 лет, дуба 2–3 единицы (и его доля несколько увеличивается в наиболее старых насаждениях), липы – 2–3 единицы (ее доля незначительно уменьшается в старых насаждениях). Средняя доля клена резко увеличивается от 1 единицы в 80-летних насаждениях до 6–7 единиц в 120-летнем.

С увеличением возраста насаждений растет и количество подроста (см. рис. 7), что связано с постепенным распадом верхнего яруса. Среднее количество подроста увеличивается с 1 тыс. шт./га в 80-летних насаждениях до 3–4 тыс.

шт./га в 120-летних. Объем собранного материала не позволяет говорить о достоверных зависимостях, но показывает общую тенденцию. Наиболее резкое увеличение среднего количества подроста отмечено для клена (с 0,1 до 3 тыс. шт./га), ели (с 0,7 до 1,5 тыс. шт./га), дуба (от 0 до 1 тыс. шт./га). Количество подроста липы остается почти без изменений.

Постепенный выход клена и дуба в древостой в перспективе создает предпосылки для увеличения в насаждении доли широколиственных пород и в будущем трансформации насаждений в елово-широколиственные или широколиственные, но через обязательную стадию елового насаждения.

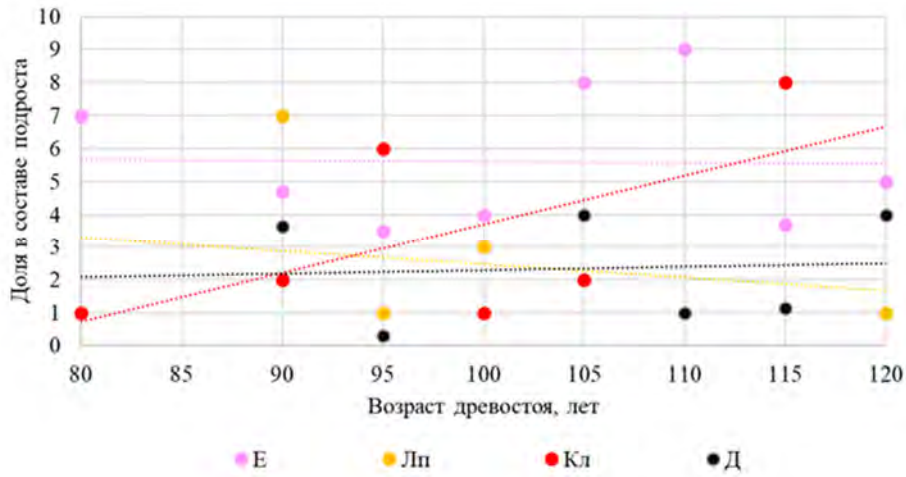


Рис. 6. Изменения в породном составе подроста с возрастом древостоя (среднее по 5-летиям)

Fig. 6. Changes in the species composition of the understory according to the age of forest stands (average for 5 years)

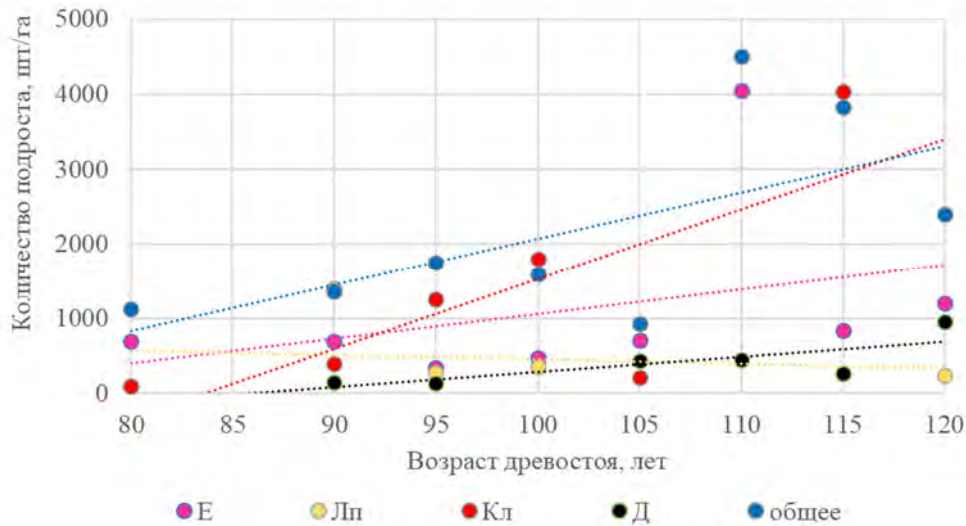


Рис. 7. Изменения в количестве подроста с возрастом древостоя (среднее по 5-летиям)

Fig. 7. Changes in the amount of understory according to the age of forest stands (average over 5 years)

В подлеске отмечено всего пять пород: лещина (*Corylus avellana*), рябина (*Sorbus aucuparia*), крушина (*Frangula alnus*), жимолость лесная (*Lonicera xylosteum*) и волчягодник (*Daphne mezereum*) (см. табл. 2). Первые три встречаются почти на всех ВПУ и ППП, а их соотношение зависит от типа леса и густоты древесных ярусов. Поэтому общее количество подлеска варьирует очень сильно – от 500 до 8100 шт./га при средней высоте 1,2 м. В старых насаждениях кисличной серии лещина может формировать ярус с сомкнутостью более 30% и высотой до 8 м, препятствуя появлению подроста.

Более подробно изучить динамику древостоев, закономерности их роста и строения позволяют исследования на постоянных пробных площадях. За счет проведения регулярных наблюдений

в течение длительного времени можно получить наилучшие результаты по динамике фитоценозов (табл. 3).

ППП 019 для наблюдения за динамикой березового фитоценоза была заложена в 1981 г. в 40-летнем березняке кисличном специалистами научного отдела заповедника. Вероятнее всего насаждение появилось на границе сельскохозяйственных и лесных земель. На момент закладки пробной площади это было чистое насаждение березы повислой с единичными деревьями ели (см. табл. 3). В живом напочвенном покрове доминировал *Pteridium aquilinum* и другие светолюбивые виды, соответственно насаждение было отнесено к орляковому типу леса.

К 2021 г. в живом напочвенном покрове широкое распространение получила *Stellaria holo-*

stea, увеличилось покрытие *Galeobdolon luteum*, *Aegopodium podagraria*, *Sanicula europaea*, *Rhodobrium roseum*. Одновременно произошло увеличение доли ели в составе древостоя, появление широколиственных пород и увеличение проективного покрытия лещины, которые привели к снижению участия светолюбивых видов и стабилизации живого напочвенного покрова. Таким образом, в настоящее время фитоценоз без сомнения относится к кисличной серии типов леса.

В период с 1981 г. (40 лет) до 2021 г. (80 лет) доля березы в составе древостоя постепенно сокращалась (со 100% до 60%), но она продолжает доминировать в составе первого яруса. Доля ели в составе выросла с единичных деревьев до 40%. На протяжении последних 15 лет запас березы (рис. 8) остается почти без изменений на уровне 260–290 м³/га. Соответственно ожидать распада древостоя березы в ближайшие годы не приходится (за исключением случаев катастрофического характера – ветровала, бурелома и пр.).

В первом ярусе доминирует береза повислая при значительном участии ели, встречаются единичные деревья осины, сосны, клена и липы. За 40 лет в насаждении сформировался густой второй ярус из ели (рис. 9, 10, см. табл. 3), в сложении которого принимают участие липа, клен, береза повислая, которые вместе формируют 50% запаса древесины яруса. Береза во втором ярусе – это отставшие в росте деревья, того же поколения, которое формирует первый ярус, а деревья остальных пород появились уже под пологом березового древостоя.

Наибольшая густота первого яруса древостоя наблюдается на высотах 24–26 м (до 350 крон/га). Ель формирует вертикально сомкнутый профиль на высотах от 8 до 24 м (рис. 10), препятствуя росту и развитию остальных древесных пород. Тем не менее, деревья липы и особенно клена встречаются в верхней части второго яруса, что создает хорошие условия для их выхода в первый ярус.

Таблица 3. Таксационная характеристика древостоя на ППП 019 и ППП 205

Tabl. 3. Description of the forest stands at PP 019 and PP 205

Год Year	Состав Composition	Средний диаметр, см DBH, sm	Средняя высота, м Height, m	Возраст, лет Age, years	Бонитет Bonitet	Число стволов, шт./га Number of trees, pices/ha	Сумма площадей сечения, м ² /га Sum of the cross- sectional areas, m ² /ha	Запас м ³ /га Total wood stock, m ³ /ha
ППП 019								
1981	10БП ед. С, Е, Олс	13,8	18,7	40	I	1292	5,1	180,0
1996	8БП1Е1С+Ос, ед. Кл, Лп, Олс	18,9	23,3	55	I	1496	33,1	378,6
2001	8БП1Е1С+Ос, ед. Кл, Лп	20,6	24,7	60	I	1420	36,7	429,4
2011	6БП3Е+Лп, С, Ос, ед. Кл	22,9	26,5	70	I	1052	38,2	464,3
2016	6БП4Е+Лп, С, Ос, ед. Кл	24,5	27,4	75	I	900	37,4	460,8
2021	1 ярус: 6БП4Е+Лп, С, Кл, ед. Ос	26,9	29,7	80	I	696	38,4	493,6
	2 ярус: 5Е2Лп1БП1Ряб+ Кл, С	11,5	11,7			140	1,4	8,9
	Итого					836	39,8	502,5
ППП 205								
2001	1 ярус: 8БП2С+Е	22,3	25,3	55	Ia	544	21,7	248,9
	2 ярус: 9Е1С+БП	10,0	9,3			1162	9,5	54,5
	Итого					1706	29,3	303,5
2006	1 ярус: 8БП2С, ед. Е	22,6	25,3	60	Ia	425	18,0	207,2
	2 ярус: 10Е, ед. С	11,3	10,3			1119	11,2	68,9
	Итого					1544	31,0	276,2
2022	1 ярус: 6БП4С, ед. Е	26,7	28,0	76	Ia	169	10,9	137,7
	2 ярус: 8Е1БП1С	21,5	21,3			389	13,5	134,8
	3 ярус: 9Е1БП	14,1	15,2			269	4,6	33,2
	4 ярус: 10Е	9,7	9,1			262	1,9	9,3
	Итого					1089	31,0	315,0

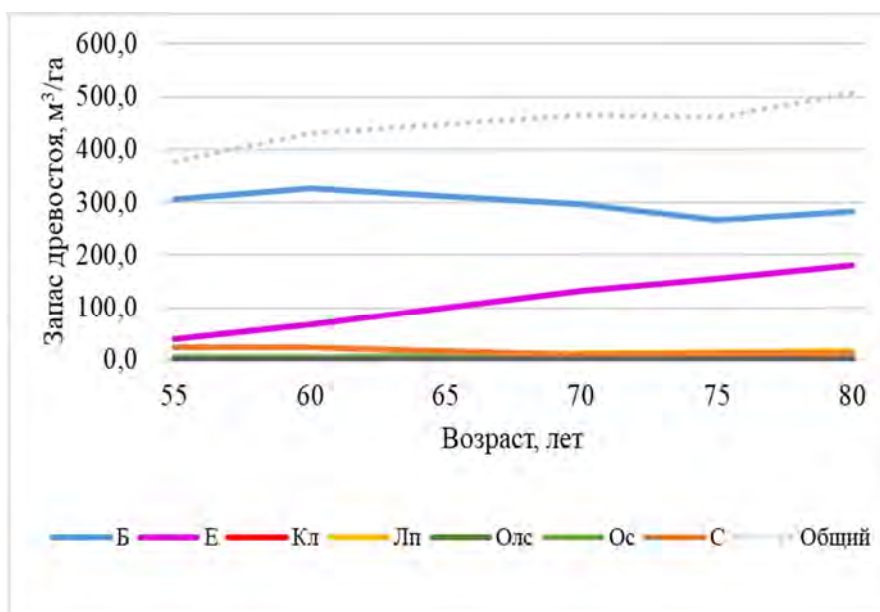


Рис. 8. Динамика запаса древостоев на ППП 019

Fig. 8. Dynamics of the total wood stock on PP 019

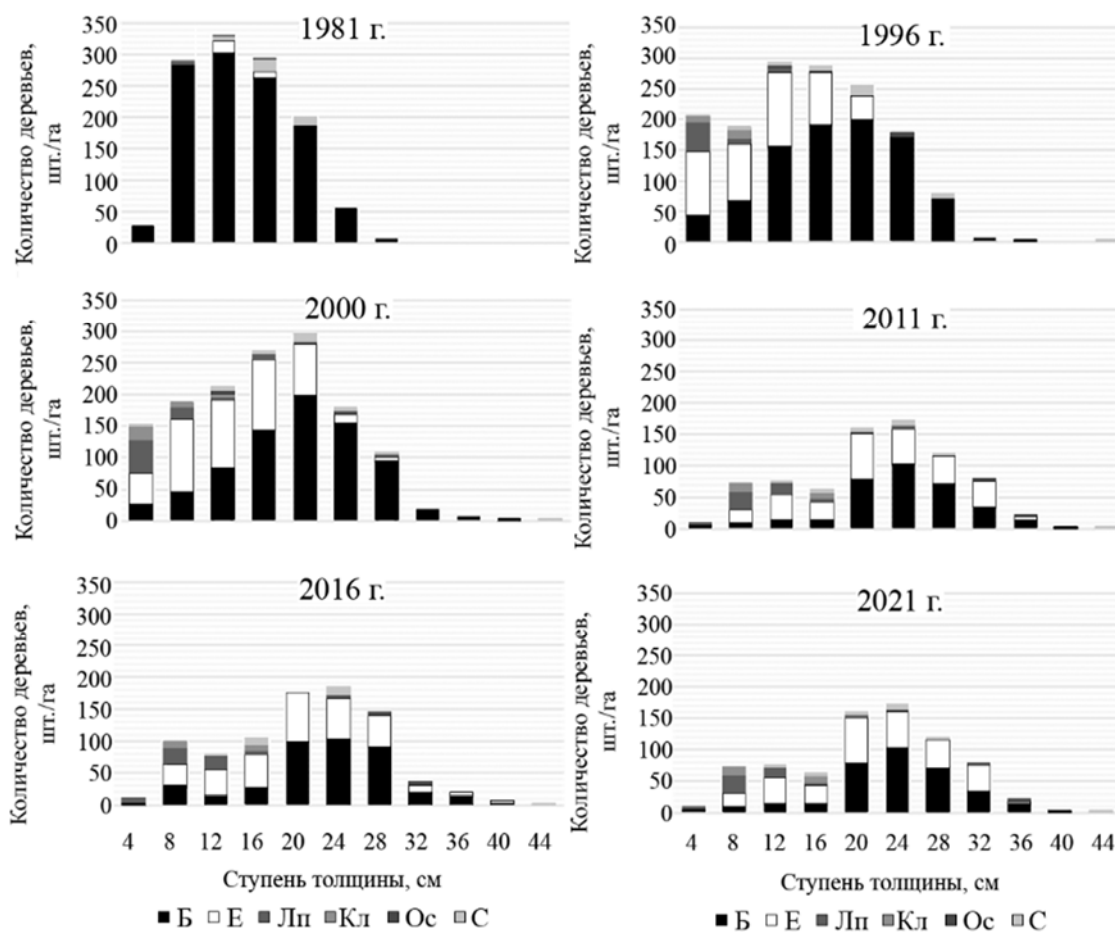


Рис. 9. Динамика распределения деревьев по ступеням толщины на ППП 019 [9]

Fig. 9. Dynamics of the distribution of trees by DBH on the PP 019

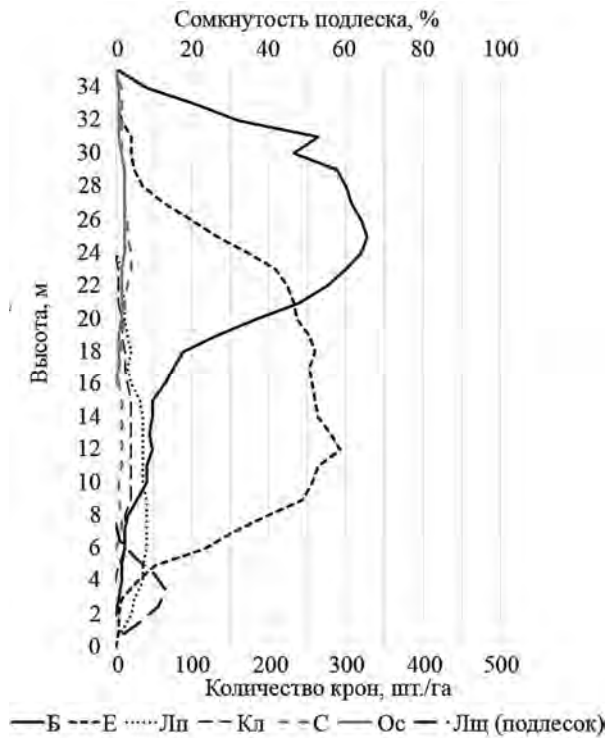


Рис. 10. Распределение числа кроны деревьев и сомкнутости подлеска по высоте на ППП 019 в 2021 г. [9]

Fig. 10. Distribution of the number of tree crowns and the undergrowth density along the height at the PP 019 in 2021

Подрост немногочисленный (950 шт./га), что связано с наличием сомкнутого второго яруса ели и густым подлеском из лещины (сомкнутость 36%) со средней высотой 3 м. Средний состав подроста – 6Ос1Лп1Кл1БП1Е. Однако почти весь мелкий подрост представлен осиной и березой, а крупный (300 шт./га) – осиной, липой, кленом и елью в равных пропорциях.

В том случае если тенденции изменений запаса и структуры насаждения сохранятся, то можно ожидать, что трансформация березняка в ельник произойдет в возрасте 105–110 лет. Одновременно отдельные деревья липы и, особенно, клена могут выйти в первый ярус древостоя, а их подрост во второй, что может создать в перспективе условия для увеличения в насаждении доли широколиственных пород.

ППП 205 была заложена только в 2001 г. в березняке, появившемся на сельскохозяйственных землях. Возраст древостоя на момент закладки ППП – 55 лет, поэтому здесь сразу была высока доля ели в составе, которая формировала густой второй ярус (рис. 11, см. табл. 3). В соответствии с видовым составом живого напочвенного покрова, в котором широкое распространение получили *Vaccinium myrtillus*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, насаждение можно отнести к орляковой серии типов леса. Однако, наличие густого полога ели, высокую долю лещины в составе подлеска, а также неморальных видов в живом напочвенном покрове и высокий бонитет древостоя (Ia) позволяют говорить о том, что это скорее возрастная ассоциация березняка кисличного.

Как и в древостое на ППП 019 за период с 55 до 76 лет доля березы в составе древостоя постепенно сокращается (см. табл. 3, рис. 11). Если в 2001 г. ее доля в 1 ярусе составляла 80%, то в 2022 г. – 60%. Доля сосны в составе 1 яруса выросла с 20 до 40%, однако это произошло за счет резкого уменьшения запаса березы, а запас сосны на протяжении последних 20 лет остается почти без изменений.

Запас березы за 20 лет уменьшился в 2 раза (см. рис. 11, табл. 3). Если в 2001 г. он был 196 м³/га, то в 2022 г. – 101 м³/га. Резкое сокращение запаса и количества деревьев березы произошло в первое

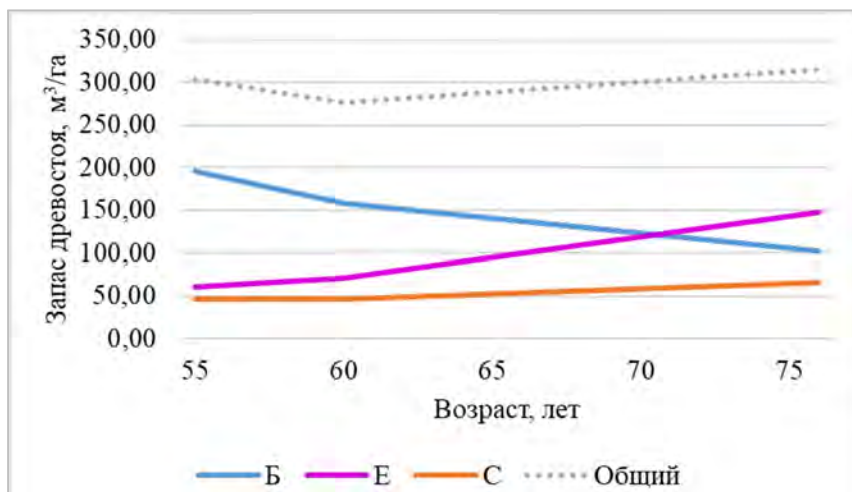


Рис. 11. Динамика запаса древостоев на ППП 205

Fig. 11. Dynamics of the total wood stock on PP 205

десятилетие после закладки ППП в результате развития очага бактериальной водянки (возбудитель – фитопатогенная бактерия из рода *Erwinia*), что ускорило формирование ярусов ели. Ее запас в это время увеличился в 2,5 раза (с 60,7 до 147,7 м³/га). Уже сейчас запас ели превышает запас березы, но почти вся ель до сих пор находится во втором ярусе.

Трансформацию структуры древостоя можно проследить по распределению крон по высоте (рис. 12), деревьев по высотам (рис. 13) и по ступеням толщины (рис. 14). За 20 лет произошли существенные изменения: количество крон березы в первом ярусе уменьшилось в 2 раза, что позволило ели ускорить свой рост и одновременно ускорить дифференциацию деревьев по высоте. В 2022 г. нами в древостое было выделено уже четыре яруса, в отличие от двух ярусов в 2001 г.

Первый ярус продолжает формировать береза повислая при участии сосны (20%) и единичными деревьями ели. Средняя высота первого яруса 28,0 м. Второй ярус формирует ель с участием отставших в росте деревьев сосны и березы (средняя высота – 21,3 м). Третий ярус из ели при небольшом участии березы (15,2 м) по количеству стволов (269 шт./га) превышает первый, но в четыре раза меньше по запасу. К четвертому ярусу отнесены деревья ели, недавно вышедшие из подроста (262 шт./га), его средняя высота составляет 9,1 м.

Изменения в распределении деревьев по ступеням толщины (см. рис. 14) повторяют изменения в распределении по высотам. За 20 лет произошло резкое снижение количества деревьев не только березы, но и ели с одновременной их дифференциацией по диаметрам. Густой полог ели приводит к тому, что деревья низших ступеней толщины выпадают из состава древостоя. Можно предположить, что трансформирование насаждения в ельник произойдет быстрее, чем в насаждении на ППП 019.

В составе подроста встречается исключительно ель в количестве 1300 шт./га и средней высотой 1,2 м. Однако густые ярусы древостоя препятствуют его развитию. Подлесок многочисленный (4400 шт./га) представлен (5РЗЛщ2Крл) рябиной, лещиной и крушиной, но его средняя высота составляет всего 0,9 м. Кроме того, состояние почти половины подроста оценивается как неблагоприятное и отмечены многочисленные повреждения копытными.

В отличие от насаждения на ППП 019 в составе подроста и древостоя здесь отсутствуют широколиственные породы. Это может быть связано с двумя особенностями. Во-первых, с тем, что участок долгое время находился под сельскохозяйственным использованием, во-вторых – с отсутствием семенных деревьев широколиственных пород. Поэтому можно ожидать, что еловое насаждение здесь будет доминировать на протяжении нескольких поколений.

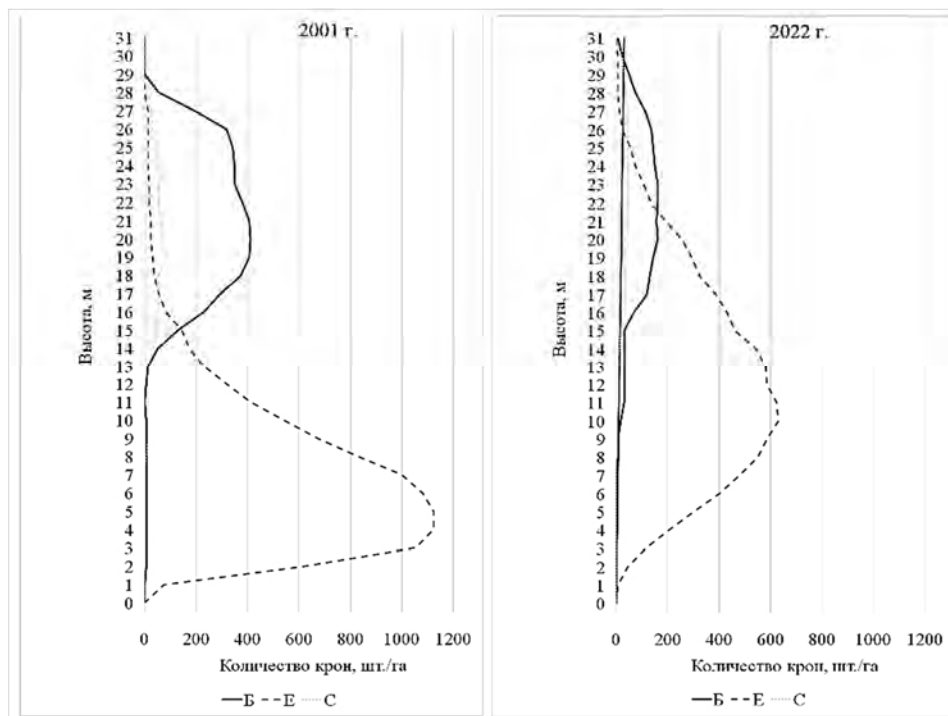


Рис. 12. Распределение числа крон деревьев по высоте на ППП 205 в 2001 и 2022 гг.

Fig. 12. Distribution of the number of tree crowns at PP 205 in 2001 and 2022

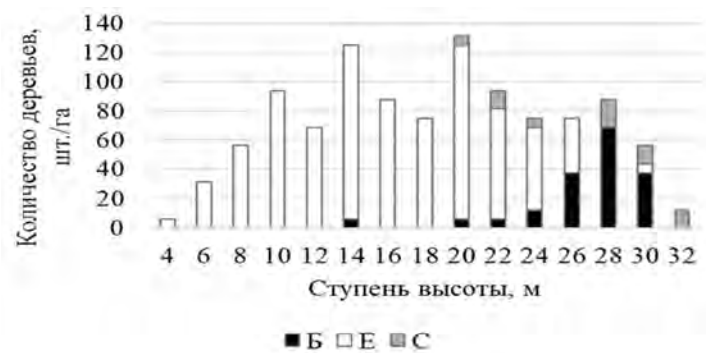


Рис. 13. Распределение деревьев по ступеням высоты на ППП 205 в 2022 г.

Fig. 13. The distribution of trees by height at PP 205 in 2022

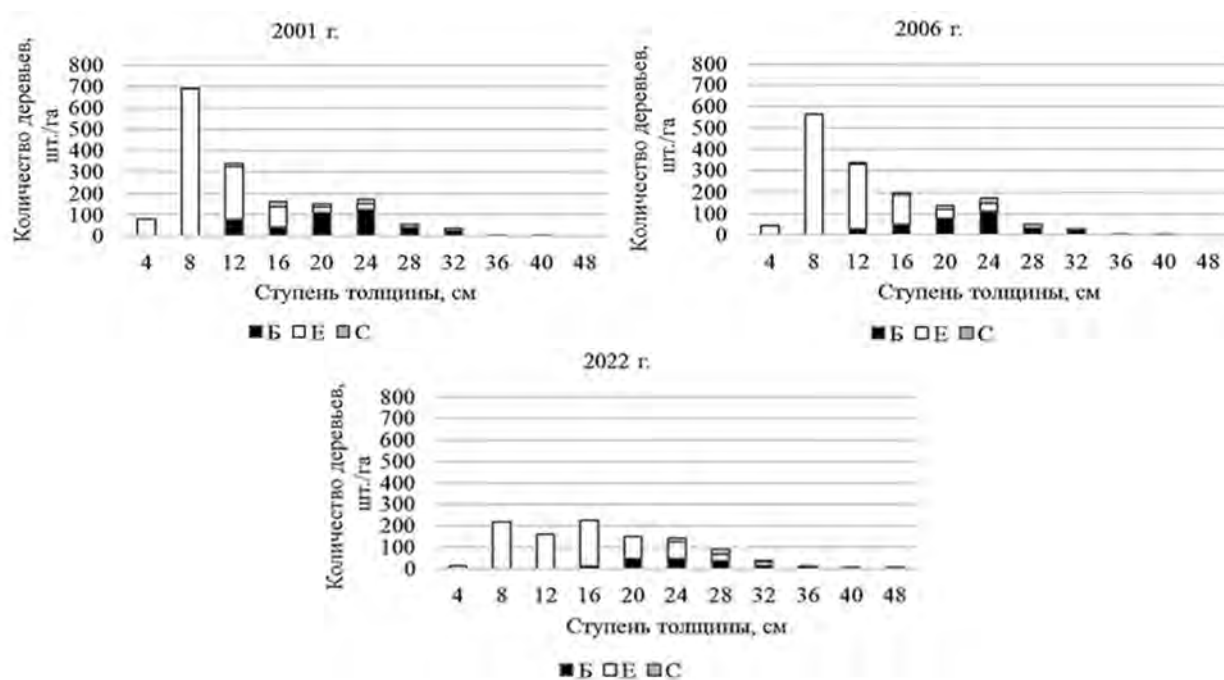


Рис. 14. Динамика распределения деревьев по ступеням толщины на ППП 205

Fig. 14. Dynamics of the distribution of trees by DBH on the PP 205

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Происхождение повислоберезовых лесов на территории Березинского биосферного заповедника в большинстве случаев связано с хозяйственной деятельностью на его территории на протяжении XX в. Они появились либо после интенсивных рубок леса в 1950-х гг. (когда с заповедника на несколько лет был снят режим охраны), либо на месте сельскохозяйственных земель [19]. Однако после появления они развивались без вмешательства человека, что позволяет исследовать направления и скорость восстановления коренных еловых, широколиственных или елово-широколиственных лесов в естественных условиях.

Анализ материалов разных туров лесоустройства [9], результатов полевых исследований структуры и динамики повислоберезовых лесов на ВПУ и ППП позволяет сделать ряд выводов:

1. Основным периодом распада повислоберезовых насаждений в орляковом, кисличном, мшистом типах леса в естественных условиях приходится на возраст около 130 лет, а не 80–100, как принято обычно считать. Трансформация в ельники может происходить и в более молодом возрасте (около 90–100 лет), но в древостоях будет сохраняться высокая доля березы повислой (около 40%).

2. Во всех исследованных высоковозрастных повислоберезовых лесах следующим этапом сукцессии является формирование ельников. Ель

появляется либо одновременно с березой, либо спустя одно-два десятилетия под ее пологом. В березовых лесах старше 50 лет хорошо выражен второй ярус древостоя с доминированием ели, а в возрасте 90–100 лет её доля достигает 4 единиц уже в первом ярусе.

3. В березняках кисличных и богатых орляковых в составе нижних ярусов древостоев и подроста к 80-100 годам появляются клен, липа, дуб. Причем их доля увеличивается со временем, а в березняках возрастом старше 100 лет доля клена в подросте достигает 60–70%.

4. Динамика структуры древостоев и подроста показывает, что одним из основных направлений восстановления елово-широколиственных лесов после различных нарушений (рубки, сельскохозяйственное использование земель) в орляковой и

кисличной сериях типов леса является последовательная смена повислоберезняков ельниками, а затем смешанными елово-широколиственными фитоценозами, что занимает не менее 200 лет. Однако при отсутствии в ближайших насаждениях семенников широколиственных пород стадия елового леса, вероятно, может растянуться на несколько поколений ели.

Выявленные особенности сукцессионных процессов в высоковозрастных повислоберезовых лесах особенно актуальны для особо охраняемых природных территорий, поскольку позволяют прогнозировать возможную структуру будущих лесов при отсутствии хозяйственной деятельности на фоне климатических изменений, происходящих в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климчик, Г. Я. Современная характеристика березовой формации лесов Беларуси / Г. Я. Климчик, О. Г. Бельчина // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2022. – № 1 (252). – С. 13–17.
2. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь от 01.01.2022. – Минск: РУП Белгослес, 2022. – 75 с.
3. Петров, Е. Г. Березовые леса БССР / Е. Г. Петров // Вести АН БССР. Серия биол. наук. – 1968. – № 4. – С. 20–24.
4. Березовые леса Беларуси: типы, ассоциации, сезонное развитие и продуктивность / И. Д. Юркевич [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1992. – С. 5–12.
5. Лабоха, К. В. Лесоведение: учебное пособие для вузов по спец. «Лесное хозяйство» / К. В. Лабоха. – Минск: БГТУ, 2018. – 265 с.
6. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: в 2 томах. Том. 1. / под общ. ред. О. В. Смирновой. – Москва: Наука, 2004. – 479 с.
7. Чубанов, К. Д. Изучение форм березы бородавчатой и пушистой северной части БССР: автореф. дис. канд. биол. наук / К. Д. Чубанов // Минск: БТИ, 1969. – 35 с.
8. Федорович, Л. В. Динамика лесоводственно-таксационных показателей березняка орлякового в заповедной части ГПУ «Березинский биосферный заповедник» / Л. В. Федорович, В. С. Ивкович, К. В. Лабоха // Труды БГТУ. – Минск: БГТУ, 2013. – № 1. – С. 111–113.
9. Направления естественных сукцессий в высоковозрастных повислоберезовых лесах (на примере Березинского заповедника) / Л. И. Старикова [и др.]. – Минск: БГТУ, 2022. – № 2 (258). – С. 49–54.
10. Ермохин, М. В. Влияние диких копытных на состояние и структуру лесных насаждений в охотничьем вольере Пашуковского лесничества НП «Беловежская пуца» / М. В. Ермохин [и др.]. – Брест: Альтернатива, 2019. – № 17. – С. 5–27.
11. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь. – 2016. – 21 с.
12. Методические рекомендации по исследованию лесоматериалов дендрохронологическим методом в судебно-ботанической экспертизе / А. Н. Хох [и др.]. – Минск: Право и экономика, 2018. – 46 с.
13. Braun-Blanquet, J. Pflanzensoziologie ; Grundzüge der Vegetationskunde / J. Braun-Blanquet. – XIV, – Wien; New York: Springer-Verlag, 1964. – 865 p.
14. Юркевич, И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах / И. Д. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1980. – 120 с.
15. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск: Наука и техника. – 1982. – 326 с.
16. Ellenberg, H. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa / H. Ellenberg. – 2. verb. u. erw. Aufl. – Göttingen: Erich Goltze, 1992. – 258 p.
17. Анучин, Н. П. Лесная таксация: учеб. для вузов / Н. П. Анучин. – 5-е изд., доп. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
18. Мирошников, В. С. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.] / под общ. ред. В. С. Мирошникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Ураджай, 1980. – 360 с.
19. Ермохин, М. В. Трансформация экосистем Березинского биосферного заповедника в XX веке / М. В. Ермохин [и др.]. – Минск.: Белорусский Дом печати, 2017. – № 12. – С. 22–31.

Поступила в редакцию 25.04.2023 г.

УДК 574.47:581.524.31:630.182.2

Д. В. ТАТАРНИКОВ

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ СТАРОВОЗРАСТНОГО СОСНЯКА ЗА 70-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ

*Институт лесоведения Российской академии наук, Московская область,
Одинцовский район, Успенское, Россия, e-mail: cytistus@list.ru*

Аннотация. По результатам многолетних наблюдений описана динамика старовозрастного сосняка за период его развития со 130 до 200 лет. В составе древостоя присутствуют: примесь березы, которая заметно моложе сосны (*Pinus sylvestris*), чье появление связано с нарушениями разной давности, а также липа (*Tilia cordata*), роль которой в составе древостоя постоянно возрастает – с 12 экземпляров высотой более 8 м в начале наблюдения до 106 м в настоящее время. Также сегодня в состав древостоя входит 24 клена (*Acer platanoides*), находящихся пока в третьем ярусе. Начало наблюдений совпало с прекращением интенсивного выпаса в фитоценозе крупного рогатого скота, что послужило толчком к активному внедрению в состав сообщества липы и клена. Также на момент начала наблюдений в составе подлеска преобладали непоедаемые скотом рябина и бересклет, а поедаемые лещина и жимолость были угнетены и затравлены. В составе травяно-кустарничкового яруса по числу видов треть составляли лесные виды, треть – лесные гелиофиты и треть – типично луговые виды, чье существование в фитоценозе было связано с выпасом. На сегодняшний день в составе подлеска преобладает лещина, увеличили свое участие жимолость и черемуха, а участие рябины и бересклета заметно уменьшилось. Исчезли луговые виды, сократилось по числу и покрытию участие светолюбивых видов, участие неморальных видов и нитрофилов увеличилось.

Ключевые слова: старовозрастные сосняки, возрастная динамика древостоев, демулационная динамика, влияние выпаса в лесу, долговременная динамика структуры и состава лесных фитоценозов.

D. V. TATARNIKOV

DYNAMIC OF OLD-GROWTH PINE FOREST STRUCTURE FOR 70-YEAR MONITORING PERIOD

*Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences,
Moscow Region, Odintsovo District, Uspenskoe, Russia, e-mail: cytistus@list.ru*

Annotation. Changes in plant community of an old-growth pine forest were observed during seventy years from 130 to 200-years pine ages on area of 50x100 meters. Pine (*Pinus sylvestris*) was dominant tree species all the time. Several birch trees, which were younger than pine, formed of forest canopy too. They have appeared in this plant community after local cuttings. Role of linden (*Tilia cordata*) in the treestand composition was increased constantly during monitoring period. If only 12 linden trees were more than 8 meters high at the beginning of observations then now there are 106 linden trees, which height are more than 8 meters. Maple trees (*Acer platanoides*) have appeared in the subordinate tree layer: now there are 24 maple trees more than 8 meters high. The start of monitoring has been coincided with the ceasing of cattle grazing in this site. As result, the conditions for growth of linden and maple saplings have been improved because cattle were actively eating shoots of young lindens and maples. At start of the observation rowan (*Sorbus aucuparia*) and euonymus (*Euonymus verrucosa*) have dominated among shrubs in the shrub layer, hazel (*Corylus avellana*) was depressed and partially broken, honeysuckle (*Lonicera xylosteum*) did not play the appreciable role. Cattle were actively eating shoots of hazel and honeysuckle, but did not eat shoots of rowan and euonymus. Now hazel has become the main dominant of the shrub layer, the participation of honeysuckle in the composition of shrub layer has increased significantly, the participations of rowan and euonymus have decreased. The herb layer at start of the observation was composed of shade forest species, sun forest species and meadow species. Such mixture was a result of the cattle grazing. Now meadow species have disappeared, the participation of sun forest species has decreased, the participation of shade forest species has increased significantly. Nitrophilous herb species plays now the appreciable role in the herb layer. That indicates the eutrophication of the forest ecosystem.

Keywords: old-growth pine forests, age-related dynamic of forests, long-time changes of composition and structure of forest plant communities, cattle grazing in forests, eutrophication of forest ecosystems, linden in pine forests.

ВВЕДЕНИЕ

За долгое время существования лесной фитоценоз не только проходит закономерные стадии своего возрастного развития, но и может испытывать разнообразные нарушения, меняющие его облик и ход дальнейшего развития. Структура многих старовозрастных насаждений, наблюдаемая в текущее время, является результатом как спонтанного развития, так и разнотипных воздействий, которые фитоценоз испытывал в течение своего существования.

Леса лесопаркового пояса Москвы, к которому относятся и леса Серебряноборского лесничества, выведены из лесохозяйственного оборота и здесь можно наблюдать поздние стадии возрастного развития древостоев разного состава и происхождения. Причем в лесах Серебряноборского лесничества уже с конца 1940-х гг. сотрудниками Института лесоведения РАН ведутся систематические научные наблюдения, поэтому у многих старовозрастных древостоев известна история их изменений за длительный промежуток времени.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящая статья посвящена изменениям, произошедшим за 70 лет наблюдений (с 1947 по 2017 гг.) в старовозрастном сосняке, чей возраст в настоящее время уже превышает 200 лет. Размер постоянной пробной площади 50x100 м (0,5 га). Фитоценоз располагается на супесчаных маломощных почвах второй надпойменной террасы реки Москвы со слабовыраженной вертикальной дифференциацией почвенного профиля. Одними авторами почвы характеризуются как дерново-слабоподзолистые, другими как буроземы [1, 2].

Описываемое насаждение типологически является сложным бором. По детальной классификации Л. П. Рысина, это – «сосняк с липой рябиново-лещиновый» [3]. Такой тип леса обычен для сосняков Серебряноборского лесничества на речных террасах, по возрасту господствующего яруса древостоя фитоценоз уникален, являясь самым старым насаждением. В его составе значительно участие липы в подчиненных ярусах древостоя и подросте, а также имеется густой под-

лесок, в котором доминирует лещина, широко представлены рябина, жимолость, бересклет, черемуха. В напочвенном покрове преобладают неморальные виды и лесные гелиофиты, участие бореальных видов невелико.

При учете 2017 г. была по возможности воспроизведена методика учета, применявшаяся в 1947–1957 гг.: у всех деревьев измеряли не только высоту и диаметр, но и протяженность их крон как по вертикали, так и по горизонтали. При измерении высот использовали ультразвуковой высотомер Vertex III. Возраст сосен уточнили на нескольких деревьях с использованием возрастного бурава. Учет числа и высоты всех экземпляров подлесочных пород произвели на всей площади пробы, как это было сделано в 1957 г. Был учтен и подрост лесобразующих пород. Состав травяно-кустарничкового яруса также определили на всей пробе. Помимо автора в учете 2017 г. активное участие приняли инженеры А. А. Титов и Ю. Г. Львов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Древостой

Возраст сосны (*Pinus sylvestris*), по-прежнему доминирующей в господствующем ярусе древостоя, уже превышает двести лет. Его появление приходится на 1820-е гг. Происхождение сосны, вероятно, естественное по гари, хотя сама гарь могла образоваться искусственно в результате сжигания порубочных остатков на вырубке. В казенных лесах в то время хозяйство старались вести на корабельную сосну, где это было возможно (до окончания эпохи парусного флота во время Крымской войны). Для этого, вероятно, содействовали возобновлению сосны путем проведения своевременных регулируемых низовых палов на месте рубок.

В древостое отчетливо выделяются три яруса (рис. 1). Первый ярус выделен по сосне, второй и

третий ярус естественно разделяются по максимальной высоте рябины (19 м), так что вся сосна в первом ярусе, вся древовидная рябина в третьем. Все, что ниже 8 м, отнесено к подросту и подлеску, как это было принято с 1947 г. Характеристики древостоя по данным 2017 г. приведены в табл. 1. Как горизонтальная, так и вертикальная протяженность крон закономерно уменьшаются от верхнего яруса древостоя к нижнему.

В первый ярус, помимо сосны, входят также липа (*Tilia cordata*) и береза. Они значительно моложе сосны, хотя возраст березы уже превышает сто лет. Береза появилась в составе древостоя в конце XIX в. на месте выборочных рубок. Липа способна поселяться под пологом сосны в любом возрасте насаждения, но в XIX в. она подвергалась очень активной эксплуатации: моло-

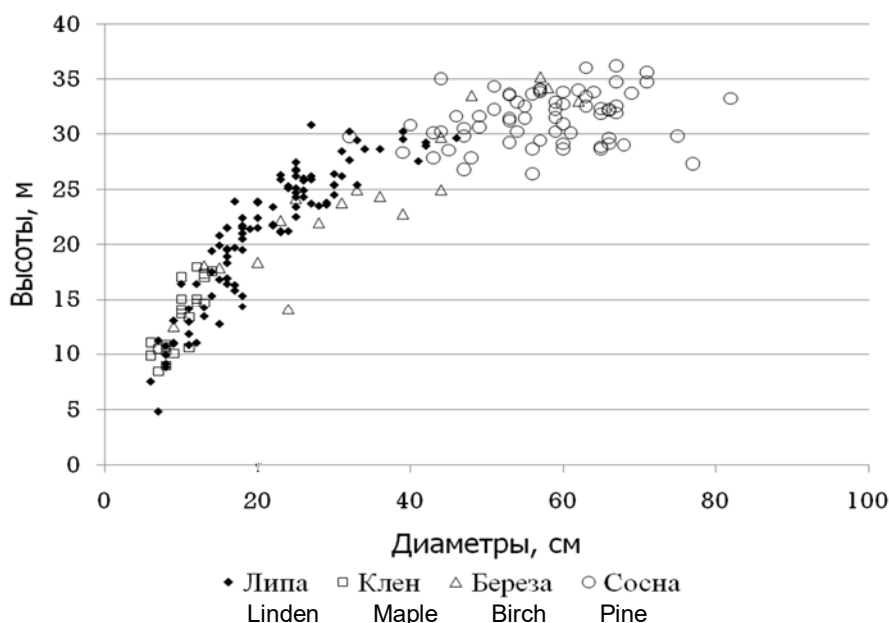


Рис. 1. Структура древостоя старовозрастного сосняка [4]

Fig. 1. Tree stand structure in the old-growth pine forest [4]:
(the abscissa axis – diameters of trees, the ordinate axis – heights of trees)

Таблица 1. Характеристики древостоя старовозрастного сосняка [4]

Table 1. Tree stand characteristics of the old-growth pine forest in 2017 [4]

Порода Species	Число дере- вьев, шт/га Quantity of trees, pcs/ha	Средние показатели / Mean values				Запас, м ³ /га Stems volu- me, m ³ /ha
		диаметр, см diameter, cm	высота, м height, m	длина кроны, м length of crown, m	площадь кроны, м ² square of crown, m ²	
1 ярус (1 tier):						
<i>Pinus sylvestris</i>	136	58,4	31,7	8	41,7	528
<i>Tilia cordata</i>	44	33,4	28,3	14,8	44,7	52
<i>Betula pendula</i>	10	53,8	33,1	15,9	88,5	32
2 ярус (2 tier):						
<i>Tilia cordata</i>	84	23,3	23,3	12,3	29,9	39
<i>Betula pubescens</i>	20	31,1	23,2	10,3	37,5	17
3 ярус (3 tier):						
<i>Tilia cordata</i>	84	12,9	14,8	8,4	20,6	9
<i>Acer platanoides</i>	48	9,8	13,1	-	-	3
<i>Betula pubescens</i>	10	16,2	16,2	7	22	2
<i>Sorbus aucuparia</i>	160	13,7	12,8	6	21,5	15

дому подросту липы просто не давали вырасти во взрослые деревья. На пробной площади размером в половину гектара в 2017 г. отмечено в составе первого яруса древостоя 68 сосен, 22 липы и 5 берез. Причем 4 березы бородавчатые (*Betula pendula*), а одна – пушистая (*Betula pubescens*).

Второй ярус сложен липами и березами, чей возраст в 1947 г. не превышал 40 лет. Это поколение берез появилось на месте выборочных рубок в начале XX в., ему уже тоже больше ста лет. Липа же второго яруса появилась в фитоценозе в основном уже после 1947 г. В 2017 г. ко второму ярусу относились 42 липы и 10 берез, чья высота нахо-

дится в интервале от 26 до 19 м. Все березы второго яруса – *B. pubescens*.

Третий ярус сложен преимущественно липой, кленом (*Acer platanoides*) и древовидной рябиной (*Sorbus aucuparia*). Липы и клены, составляющие этот ярус, появились в середине XX в. В 1957 г. они еще находились в подросте [5]. В то время также отмечалось массовое появление возобновления березы и осины на месте выборочных рубок военного времени, от него в третьем ярусе сохранилось пять пушистых берез. Кроме них, третий ярус составляют 42 липы, 24 клена, 80 древовидных рябин, один дуб (*Quercus robur*) и один вяз (*Ulmus laevis*).

Для сравнения в табл. 2 приведены характеристики древостоя сосняка в 1947 г., когда возраст сосны составлял около 130 лет [5]. Количество сосен за 70 лет уменьшилось всего на 13 деревьев, их средние диаметр, высота и особенно площадь крон заметно выросли. Существенное увеличение площади крон характерно практически для всех пород. Нужно также отметить присутствие в составе древостоя трех поколений березы, появление которых связано с масштабными нарушениями фитоценоза различной давности. Наблюдаемое увеличение средних параметров берез за прошедшие годы связано не столько с их активным ростом, сколько с их значительным изреживанием, в ходе которого выживают наиболее крупные экземпляры – лидеры в каждой возрастной кагорте. Число берез первого поколения уменьшилось за 70 лет более чем вдвое, а число берез второго поколения в четыре раза.

Динамика числа деревьев ряда пород, в том числе трех поколений березы, на пробной пло-

щади за 70 лет наблюдений приведена в табл. 3. Липа на отдельные поколения отчетливо не делится, так как процесс ее возобновления протекает непрерывно. Если верить данным 1947 г., то в состав древостоя тогда входило только 12 лип, из которых выше 20 м – в первом ярусе – на тот момент было всего шесть лип. Одна из них была повалена ветром к 1957 г. По данным учета 2017 г., в состав первого яруса входит 22 дерева липы (высотой выше 26 м). Это означает, что не менее 11 из них в 1947 г. еще были в подросте, чья высота не превышала 4,5 м, а возраст был менее 20 лет. А если учесть, что в подросте в 1947 г. отмечено 25 экземпляров липы, а общее число деревьев липы в древостое во всех трех ярусах в 2017 г. составило 106 деревьев, то очевидно, что большинство из них появилось в составе данного насаждения уже после 1947 г., то есть их возраст моложе 70 лет. Таким образом, за прошедшие 70 лет насаждение из почти чистого сосняка превратилось в липово-сосновое. Еще 473 липы, чья высота меньше 8 м, относятся к подросту.

Таблица 2. Характеристики древостоя сосняка в 130-летнем возрасте (по данным 1947 г. [5])

Table 2. Tree stand characteristics of the old-growth pine forest at the age of 130 years (in 1947 [5])

Порода Species	Число деревьев, шт/га Quantity of trees, pcs/ha	Средние показатели / Mean values				Запас, м ³ /га Stems volume, m ³ /ha
		диаметр, см diameter, cm	высота, м height, m	длина кроны, м length of crown, m	площадь кроны, м ² square of crown, m ²	
1 ярус (1 tier):						
<i>Pinus sylvestris</i>	162	45	26	7	23,7	304
<i>Tilia cordata</i>	12	22	21	11	20	5
<i>Betula</i>	24	22	24	7	19,6	10
2 ярус (2 tier):						
<i>Tilia cordata</i>	12	6	9	7	4,5	0,2
<i>Betula</i>	86	16,5	14,5	7	7	13
<i>Sorbus aucuparia</i>	76	8	9	8	4,9	2

Таблица 3. Динамика числа деревьев разных пород и поколений в старовозрастном сосняке за 70-летний период наблюдений (данные за 1947 и 1957 гг. из [5])

Table 3. Dynamic of living trees quantity of different species and generations in the old-growth pine forest during 70 years of monitoring. (data 1947, 1957 from [5]).

Порода Species	Текущий возраст Age in 2017	Число живых деревьев, штук Quantity of living trees		
		1947	1957	2017
<i>Pinus sylvestris</i>	>200	81	79	68
<i>Betula pendula</i> + <i>pubescens</i>	120-130	12	11	5
	100-110	43	41	10
	60-75	239	491	5
<i>Populus tremula</i>	-	42	241	-
<i>Tilia cordata</i> (H>8m) древостой	-	12	11	106
<i>Tilia cordata</i> (H<8m) подрост	-	25	398	473
<i>Acer platanoides</i> (H>8m) древостой	-	-	-	24
<i>Acer platanoides</i> (H<8m) подрост	-	-	6	651
<i>Quercus robur</i> (H>8m) древостой	-	1	1	1
<i>Quercus robur</i> (H<2m) подрост	-	11	51	24

Подрост клена в 1957 г. был отмечен в числе 6 штук, а сегодня на пробной площади в подросте насчитывается 651 клен (большинство которых меньше 1 м высотой) и 24 клена уже вошли в состав древостоя. Весь клен пока относится к 3 ярусу.

Дуб с 1947 г. постоянно присутствует в составе подроста, но его участие в древостое символическое. На смену единственному дубу, который входил в состав третьего яруса древостоя в 1947 г. и уже усох, в составе третьего яруса древостоя в 2017 г. также учтен один дуб высотой 10,6 м. Все 24 экземпляра подроста дуба, учтенные в 2017 г., менее 1 м высотой. Если дуб не смог ранее, при более благоприятном световом режиме, войти в состав древостоя, то и в дальнейшем в отсутствие значительных нарушений ожидать этого не приходится.

Малое количество подроста широколиственных пород, а также отсутствие сомкнутого полога подлеска, зафиксированное в начале наблюдений, объясняется интенсивным выпасом в лесу крупного рогатого скота в период с Гражданской и до окончания Великой Отечественной войны. Кроме того, подрост липы подвергался многолетней интенсивной эксплуатации для нужд лычного промысла (для изготовления лаптей и других плетеных изделий), которая окончательно прекратилась только к середине XX в. Липам в густонаселенных районах просто не давали вырасти во взрослые деревья. В результате сегодня в наших лесах происходит Ренессанс липы, постепенное восстановление утраченных ею позиций в составе лесных сообществ под воздействием хозяйственной деятельности человека. Это явление, характерное для многих типов подмосковных лесов [3, 6], нашло свое отражение и в динамике описываемого сосняка.

Ход естественного развития изученного сосняка явно свидетельствует в пользу дальнейшей смены сосны липой и образования липняка с примесью клена, а также других широколиственных пород. Следовательно, супесчаные почвы сами по себе, в отсутствие пожаров, никак не гарантируют устойчивого существования сосны в таких условиях при спонтанном протекании лесообразовательного процесса.

Наиболее яркими примерами увеличения роли липы в сложении лесов центра Русской равнины являются результаты многолетней динамики еловых лесов в Лосином острове и в Центрально-Лесном заповеднике. В Лосином острове (Лосиноостровской лесной даче) на момент первого лесоустройства (1842 г.) преобладали спелые еловые леса, занимавшие 3525 га, липа в составе древостоев отсутствовала, а под пологом встречалась единично [7]. Ельники Лосиного острова распа-

лись преимущественно естественным путем, кроме того периодически отмечались массовые ветровалы. По мере распада еловых лесов древостой ели редели, участие липы в древостоях постоянно росло. В 1890 г. 25% всех ельников были с примесью липы в составе древостоя, 75% ельников имели значительное количество липы в подлеске. К 1912 г. древостой с преобладанием липы уже занимали 379 га, в 1956 г. – 828 га, в 1997 г. – 1071 га. Подрост липы распространен практически повсеместно в преобладающих сегодня производных березняках. С 1970-х гг. быстро растет также участие клена в составе подроста. Гибель древостоев ели в неморальных ельниках после массовой вспышки короеда-типографа в 2010 г. привела к появлению на их месте широколиственных насаждений с преобладанием липы [8].

Историю ельников Лосиного острова спустя 100 лет практически повторяют неморальные ельники Центрально-Лесного заповедника. На момент его создания в 1931 г. почти всю его площадь занимали спелые ельники разных типов, в древостоях почти полностью отсутствовали широколиственные породы, но в подросте в неморальных ельниках уже тогда присутствовали липа и клен [9]. С конца 1980-х гг. начался распад старовозрастных еловых лесов, ускоренный периодическими массовыми ветровалами. На месте многих распавшихся неморальных ельников возникли древостой с преобладанием липы и клена в главном ярусе, в еще сохранившихся неморальных ельниках липа и клен формируют второй ярус древостоя.

Такая динамика характерна и для сложных сосняков. Например, в Измайловском лесу в 1927 г. по данным лесоустройства старовозрастные сосняки занимали 75,2% площади [10]. После распада старых сосновых древостоев на их месте сегодня растут широколиственные леса с преобладанием липы.

Подлесок

Важнейшим фактором, оказывавшим большое влияние на лесные фитоценозы в течение столетий, был интенсивный выпас там крупного рогатого скота, который до своего одомашнивания был обычным стадным лесным обитателем, как и зубры. Воздействие выпаса на состав и строение лесных сообществ было многогранным. Как было зафиксировано в результате наблюдений в Серебряноборском лесничестве в конце 1940-х гг. [1], коровы активно поедали подрост липы и клена, молодые осины (*Populus tremula*) и березы, а также лещину (*Corylus avellana*) и жимолость (*Lonicera xylosteum*), но при этом не ели рябину и бересклет (*Euonymus verrucosus*). В результате в составе подлеска в

1947 г. преобладали как по количеству, так и по доле в общем пологе подлеска рябина и бересклет. Лещина была вся поломана и затравлена.

В 1957 г. в связи со значительным разрастанием кустарников и подроста древесных пород после прекращения выпаса был предпринят очень подробный учет подлеска [5]. На всей пробной площади в 1957 г. насчитывалось 4704 рябины, из них древовидных (более 8 м высотой) 38 штук, бересклета было 1388 экземпляров, тогда как лещины было 595 штук (больше половины менее 1 м высотой), а жимолости 484 штуки. Участие других кустарников было минимальным.

Для сравнения такой же учет был проведен в 2017 г. Результаты обоих учетов подлеска представлены в табл. 4. Сейчас лещина образует густой сомкнутый полог, ее максимальная высота 13 м (в 1957 г. – только 7 м), экземпляры меньше 1 м высотой составляют менее трети общего количества лещины на пробной площади, которое почти не изменилось. Высотный спектр лещины стал более равномерным, характерным для устойчивой популяции. Всего на пробе зафиксировано 688 экземпляров лещины, 541 экземпляр бересклета, 1638 кустов жимолости и 374 рябины, из которых древовидных (более 8 м высо-

той) 80 штук. За последние 60 лет после прекращения выпаса скота в лесу участие непоедаемых скотом рябины и бересклета в составе подлеска значительно уменьшилось, участие поедаемых лещины и жимолости возросло.

Также заметно увеличила свое участие в составе подлеска черемуха (*Padus avium*). Относительно большое число древовидной рябины в составе третьего яруса объясняется ее временным ускорением роста после отмерзания лещины в экстремально холодную зиму 1978–1979 гг., когда в сомкнутом пологе подлеска, сложенного преимущественно лещиной, появились значительные разрывы. Эти рябины уже достигли возраста 40 лет и начинают отмирать. Ощутимого пополнения их числа из подлеска в ближайшем будущем ожидать не приходится.

Разрастание подлеска и подроста широколиственных пород под пологом характерно для лесов Серебряноборского лесничества во второй половине XX в. [3, 11]. Также значительное разрастание подлеска в тот же период происходило и в лесах Лосино острова (Лосиноостровской лесной дачи). Если в 1935 г. только в 30% лесов там был выражен ярус подлеска с преобладанием лещины, то в 1987 г. уже 87% лесов имели разви-

Таблица 4. Вертикальная структура подлеска и подроста в старовозрастном сосняке по данным учетов 1957 г. [5] и 2017 г.

Table 4. Vertical structure of shrub layer of the old-growth pine forest according to data of the accounts 1957 [5] and 2017

Порода Species	Год учета Year	Число экземпляров по градациям высот, м Quantity of plants different heights, meters											Всего Total	
		0-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	H<8m	H>8m
<i>Sorbus aucuparia</i>	1957	2343	429	378	300	274	250	240	208	109	90	45	4666	38
	2017	107	61	23	17	20	14	13	13	13	9	4	294	80
<i>Corylus avellana</i>	1957	232	160	20	10	26	30	55	47	14	1	-	595	-
	2017	98	78	60	63	46	40	47	55	52	41	40	620	68
<i>Lonicera xylosteum</i>	1957	204	114	106	43	11	2	2	2	-	-	-	484	-
	2017	1146	391	86	15	-	-	-	-	-	-	-	1638	-
<i>Euonymus verrucosus</i>	1957	777	305	161	90	54	1	-	-	-	-	-	1388	-
	2017	330	127	69	13	-	2	-	-	-	-	-	541	-
<i>Frangula alnus</i>	1957	28	40	23	11	3	9	-	-	-	-	-	113	-
	2017	4	15	5	2	-	-	-	-	-	-	-	26	-
<i>Padus avium</i>	1957	2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
	2017	177	184	192	107	37	11	13	6	2	3	2	734	3
<i>Amelanchier alnifolia</i>	1957	12	28	-	6	4	-	8	4	2	1	-	65	-
	2017	8	12	5	5	-	-	-	2	2	-	-	34	-
<i>Viburnum opulus</i>	1957	88	6	-	1	-	-	-	-	-	-	-	95	-
	2017	162	37	8	-	-	-	-	-	-	-	-	207	-
<i>Rosa majalis</i>	1957	61	47	7	1	1	-	-	-	-	-	-	117	-
	2017	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
<i>Daphne mezereum</i>	1957	12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-
	2017	21	27	5	-	-	-	-	-	-	-	-	53	-
<i>Tilia cordata</i>	2017	218	168	101	37	18	5	7	8	9	2	1	473	106
<i>Acer plat- anoides</i>	2017	392	189	39	8	8	3	3	4	2	2	1	651	24

тый ярус подлеска, в котором преобладала лещина, а также существенную роль играла рябина, особенно в сосняках [7]. В Лосином острове активная пастьба скота продолжалась до послевоенного времени и служила сдерживающим фактором для разрастания лещины и липы. Рябина и клен в Лосином острове активно поедались лосями, предпочитающими их наряду с осиной и молодой сосной. С падением численности лосей участие клена и рябины стало быстро расти.

Живой напочвенный покров

В начале наблюдений сомкнутость древостоя и подлеска была невелика под влиянием выборочных рубок и выпаса. Согласно первоисточнику, в 1947 г. общая сомкнутость крон древостоя составляла 0,6–0,7, его полог «пропускал много света» [5]. Сомкнутость подлеска варьировала от 0,3 на прогалинах до 0,8 в сомкнутых группах, в среднем составляя 0,5. Малые площади крон деревьев, зафиксированные в 130-летнем сосняке, также предполагают значительные разрывы в пологе древостоя в то время. К прогалам было приурочено массовое возобновление березы и осины и сомкнутый травяной покров (с покрытием более 90% поверхности почвы). Типичные лесные виды составляли только треть от общего числа видов трав и кустарничков, обнаруженных в фитоценозе. Еще треть приходилась на лесные гелиофиты – виды, характерные для хорошо освещенных участков леса, полян, редины, опушек. Оставшуюся треть составляли типично луговые виды. По мнению исследователей того времени, распространение луговых видов под пологом лесов Серебряноборского лесничества, что было повсеместным явлением, однозначно было связано с интенсивным выпасом крупного рогатого скота в лесах в довоенное и военное время [1]. Всего в фитоценозе было обнаружено 27 луговых видов, приуроченных к хорошо освещенным участкам, наиболее обильными из которых были *Anthoxanthum odoratum*, *Cerastium caespitosum*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, *Trifolium repens*, *Stellaria graminea*, *Taraxacum officinale*, *Knautia arvensis*, *Phleum pratense*, *Alopecurus pratensis*, *Potentilla argentea*, *Achillea millefolium*. Наиболее обильными видами группы лесных гелиофитов, которые также тяготели к лучше освещенным участкам, были костяника (*Rubus saxatilis*), вейник (*Calamagrostis arundinacea*), щитовник игольчатый (*Dryopteris spinulosa*), кочедыжник (*Athyrium filix-femina*), герань (*Geranium sylvaticum*), малина (*Rubus idaeus*), *Fragaria vesca*, *Fragaria moschata*, *Veronica chamaedrys*, *Veronica officinalis*, *Solidago virgaurea*, *Viola canina*, *Viola hirta*, *Potentilla erecta*, *Hypericum maculatum*. Нитрофильные виды тогда встречались еди-

нично: *Urtica dioica*, *Geum urbanum*, *Stellaria media*, *Glehoma hederacea*. Только *Moehringia trinervia* встречалась часто. Их участие в составе травяно-кустарничкового покрова отражало фрагментарную евтрофикацию как результат выпаса скота. Тем не менее, в составе доминантов живого напочвенного покрова преобладали типично лесные виды. Помимо костяники и вейника, к ним относились кислица (*Oxalis acetosella*), черника (*Vaccinium myrtillus*), осока пальчатая (*Carex digitata*) и сныть (*Aegopodium podagraria*). Лесные виды тяготели к более тенистым участкам, где подлесок был лучше развит, а напочвенный покров менее нарушен. Лесные виды можно разделить на бореальные, неморальные и боровые. Из бореальных видов в фитоценозе произрастали кислица, черника, майник (*Majanthemum bifolium*), седмичник (*Trientalis europaea*), ожика волосистая (*Luzula pilosa*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), голокучник (*Gymnocarpium dryopteris*), *Pyrola rotundifolia*, *Orthilia secunda*, *Goodyera repens*, *Galium triflorum* – всего 11 видов. Неморальных видов было обнаружено 13: сныть, осока пальчатая, *Stellaria holostea*, *Milium effusum*, *Orobus vernus*, *Paris quadrifolia*, *Dryopteris filix-mas*, *Carex pilosa*, *Carex sylvatica*, *Festuca gigantea*, *Brachypodium sylvaticum*, *Poa nemoralis*, *Pulmonaria angustifolia*. И 9 видов можно отнести к характерным видам сосновых лесов на легких почвах: орляк (*Pteridium aquilinum*), купена (*Polygonatum officinale*), ландыш (*Convallaria majalis*), перловник (*Melica nutans*), *Festuca ovina*, *Hieracium pilosella*, *Chimaphila umbellata*, *Antennaria dioica*, *Campanula persicifolia*. Ландыш и перловник также можно рассматривать и как неморальные виды. Мхов было немного, они покрывали около 20% поверхности почвы. Из них наибольшее распространение имели *Pleurozium schreberi* и *Polytrichum commune*.

Спустя семьдесят лет в составе травяно-кустарничкового покрова произошли значительные изменения (рис. 2). Луговые виды исчезли полностью, лесных гелиофитов осталась только треть (25 видов исчезло), причем костяника и вейник перестали быть доминантами, но заметно увеличили свое участие щитовник игольчатый, кочедыжник и живучка (*Ajuga reptans*). Помимо них, в составе сообщества остались герань, малина, обе земляники, *Solidago virgaurea*, *Viola hirta*. Общее число лесных видов также сократилось. В группе бореальных видов исчезло 5 видов: брусника, седмичник, *Orthilia secunda*, *Goodyera repens*, *Galium triflorum*. В группе боровых видов также исчезло 5 видов: *Festuca ovina*, *Hieracium pilosella*, *Chimaphila umbellata*, *Antennaria dioica*, *Campanula persicifolia*.

naria dioica, *Campanula persicifolia*. Из неморальных видов выпало из состава 6 видов – *Stellaria holostea*, *Carex sylvatica*, *Festuca gigantea*, *Brachypodium sylvaticum*, *Poa nemoralis*, *Pulmonaria angustifolia*, но появилось пять новых видов *Stellaria nemorum*, *Sanicola europaea*, *Mycelis muralis*, *Cardamine impatiens*, *Festuca altissima*. В результате доля неморальных видов заметно увеличилась. Наблюдающаяся динамика свидетельствует о происходящих сциофитизации и неморализации травяно-кустарничкового покрова в результате увеличения сомкнутости и усложнения структуры верхних ярусов фитоценоза, а также роста участия липы в составе древостоя и лещины в составе подлеска. Кроме того, за прошедшие 70 лет из напочвенного покрова почти полностью исчезли мхи.

Заметно увеличила свою представленность группа нитрофильных видов как по составу, так и по обилию. Внедрившаяся недотрога (*Impatiens parviflora*) стала содоминантом, увеличили участие и другие нитрофилы *Urtica dioica*, *Geum urbanum*, *Stellaria media*, *Glehoma hederacea*, *Moehringia trinervia*, появился чистотел (*Cheli-*

donium majus). Рост участия видов-нитрофилов в составе нижних ярусов характерен для всех городских и пригородных лесов и отражает их растущую евтрофикацию, вызванную азотным загрязнением воздуха, сопровождающим сжигание жидкого топлива в автомобильных двигателях и твердого ископаемого топлива в различных индустриальных процессах.

В целом за период наблюдений видовое разнообразие травяно-кустарничкового покрова значительно уменьшилось: в 1947 г. в его составе был 101 вид, а в 2017 г. было обнаружено только 40 видов. Изменились доли участия видов разных эколого-фитоценологических групп (см. рис. 2). В 1947 г. теневыносливые лесные виды (сциофиты) составляли 33% от общего числа видов (в том числе неморальные 13%, бореальные 11%, боровые 9%), светолюбивые лесные виды (лесные гелиофиты) – 36%, луговые – 27%, нитрофильные – 5%. В 2017 г. теневыносливые лесные виды составляли уже 55% от общего числа видов (в том числе неморальные 30%, бореальные 15%, боровые 10%), светолюбивые лесные виды – 27,5%, нитрофильные – 17,5%.

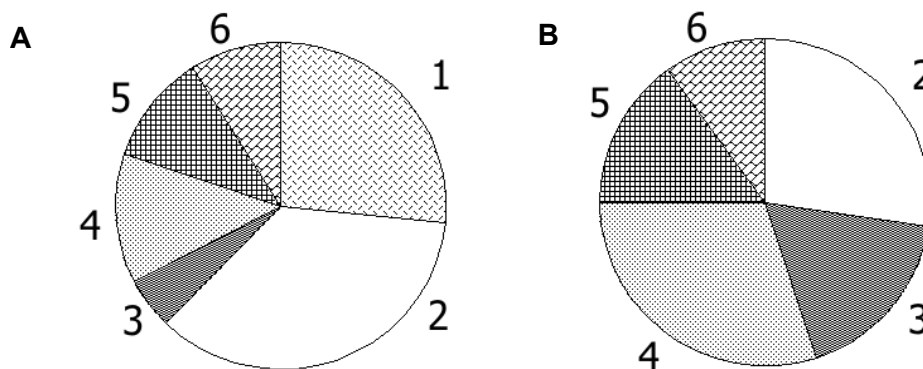


Рис. 2. Доля участия видов разных эколого-фитоценологических групп в сложении травяно-кустарничкового покрова в 1947 г. (А) и 2017 г. (В)

Группы видов: 1 – луговые, 2 – лесные гелиофиты, 3 – нитрофильные, 4 – неморальные, 5 – бореальные, 6 – боровые

Fig. 2. Participation shares of species of different ecological groups in the herb layer of the old-growth pine forest in 1947 (A) and 2017 (B)

Ecological groups: 1 – meadow plants, 2 - forest heliophytes, 3 – nitrophilous plants, 4 – nemoral plants, 5 – boreal plants, 6 – forest plants of sandy soils

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За прошедшие 70 лет в старовозрастном сосняке на фоне стабильности главного яруса древостоя произошли значительные изменения в составе подчиненных ярусов. Структура древостоя усложнилась, возросло участие липы, в составе древостоя появился клен. Лещина сформировала стабильный высотный спектр с преобладанием

взрослых особей, стала главной породой в составе кустарничкового яруса. После прекращения выпаса увеличилось участие поедаемой скотом жимолости и снизилось участие непоедаемых рябины и бе-ресклета. Изменения в древостое и подлеске, а также прекращение выпаса и евтрофикация лесов из-за атмосферного загрязнения

вызвали изменения в составе живого напочвенного покрова: возросла доля неморальных и нитрофильных видов, снизилось число видов лесных гелиофитов, бореальных и боровых видов, луговые виды полностью исчезли, также исчезли мхи. В дальнейшем при продолжении спонтанной динамики фитоценоза место сосны займет липа, на месте сложного бора образуется липняк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин, С. А. Типы леса Серебряноборского лесничества / С. А. Никитин // Стационарные биогеоценологические исследования в Серебряноборском опытном лесничестве: Труды Лаборатории лесоведения АН СССР. – Том 2. – Вып. 1. – М.: АН СССР, 1961. – С. 11–176.
2. Природа Серебряноборского лесничества в биогеоценологическом освещении. М.: Наука, 1974. – 392 с.
3. Рысин, Л. П. Мониторинг лесных биогеоценозов / Л. П. Рысин // Серебряноборское опытное лесничество: 65 лет лесного мониторинга. – М.: КМК, 2010. – С. 32–59.
4. Татарников, Д. В. Старовозрастные древостои Серебряноборского лесничества // Лесохоз. информ. Д. В. Татарников, Ю. Г. Львов. – [Электрон. ресурс]. – 2019. – № 4. – С. – 79–86. – Режим доступа: <http://hi.vniilm.ru/>. – Дата доступа: 05.03.2023. DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2019.4.07
5. Никитин, С. А. Стационарные исследования биогеоценоза сложного бора / С. А. Никитин, Е. Ф. Гребенникова // Стационарные биогеоценологические исследования в Серебряноборском опытном лесничестве: Труды Лаборатории лесоведения АН СССР. – Том 2. – Вып. 1. – М.: АН СССР, 1961. – С. 177–353.
6. Рысин, Л. П. Леса Подмосковья / Л. П. Рысин. – М.: КМК, 2012. – 256 с.
7. Абатуров, А. В. 150 лет Лосиноостровской лесной даче / А. В. Абатуров, О. В. Кочевая, А. И. Янгутов. – М.: Аслан, 1997. – 238 с.
8. Коротков, С. А. Устойчивость и динамика еловых и липовых насаждений северо-восточного Подмосковья / С. А. Коротков [и др.] // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. – 2014. – Том 18. – № 4. – С. 13–21.
9. Пукинская, М. Ю. Смена пород в неморальных ельниках Центрально-Лесного заповедника / М. Ю. Пукинская // Поволжский экологический журнал. – 2020. – № 4. – С. 459–476. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-4-459-476
10. Мерзленко, М. Д. В лесных дачах центральной России / М. Д. Мерзленко – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 273 с.
11. Савельева, Л. И. Формы динамики лесных сообществ на урбанизированных территориях / Л. И. Савельева // Лесные экосистемы и урбанизация. – М.: КМК, 2008. – С. 24–39.

Поступила в редакцию 05.03.2023 г.

ЭКОЛОГИЯ ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ NATURAL PLANT COMPLEXES ECOLOGY

УДК 581.5

А. М. МЯЛИК¹, М. М. ДАШКЕВИЧ², В. А. ГАЛУЦ²

ВИДАВЫЯ АСАБЛІВАСЦІ АКУМУЛЯЦЫІ ЦЯЖКІХ МЕТАЛАЎ У НАДЗЕМНАЙ ФІТАМАСЕ АБАРЫГЕННЫХ РАСЛІН ВА ЁМОВАХ БЕЛАРУСКАГА ПАЛЕССЯ

¹Цэнтральны батанічны сад Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: aleksandr-myalik@yandex.ru

²Палескі аграрна-экалагічны інстытут Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Брэст, Беларусь,
e-mail: olga_galuc@list.ru

Анотацыя. Ва ўмовах прыродных лясных, лугавых і балотных ландшафтаў заходняй часткі Беларускага Палесся, аддаленых ад патэнцыйных крыніц тэхнагеннага забруджвання, даследавалі відавыя характэрыстыкі назапашвання шэрагу цяжкіх металаў (ЦМ) у надземнай фітамасе абарыгенных гаспадарча карысных раслін. Відавую спецыфічнасць узроўняў акумуляцыі ЦМ раслінамі аналізавалі па велічынях каэфіцыентаў назапашвання (K_n) – суадносін утрымання элементаў у надземнай фітамасе раслін да ўтрымання іх рухомах формаў у глебе рызасферы, адабранай спалучана з раслінамі. Вызначаны дыяпазоны відавых значэнняў K_n па кожнаму з даследаваных элементаў: Pb (0–0,29); Cd (0–27,8); Ni (0,2–12,6); Cu (0,09–10,7); Zn (0,8–31,5); Mn (0,15–69,0); Fe (0,01–0,75). Адносна здольнасці да назапашвання ЦМ віды раслін былі размеркаваны па групах назапашвальнікаў ($K_n \geq 2$), індыкатараў ($K_n = 1-2$) і выключнікаў ($K_n \leq 1$). З мэтай параўнальных ацэнак і маніторынгавых назіранняў забруджвання раслін ЦМ у будучыні прапанована выкарыстоўваць у якасці фонавых атрыманы значэнні каэфіцыентаў назапашвання як найбольш інфарматыўныя.

Ключавыя словы: Беларускае Палессе, гаспадарча каштоўныя расліны, цяжкія металы, мікраэлементны склад, каэфіцыент назапашвання.

А. М. МЯЛИК¹, М. М. ДАШКЕВИЧ², В. А. ГАЛУЦ²

ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАСЕ АБОРИГЕННЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

¹Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: aleksandr-myalik@yandex.ru

²Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии наук Беларуси, Брест, Беларусь,
e-mail: olga_galuc@list.ru

Аннотацыя. В условиях природных лесных, луговых и болотных ландшафтов западной части Белорусского Полесья, расположенных на значительном удалении от потенциальных источников техногенного загрязнения, исследовали видовые характеристики накопления ряда тяжелых металлов (ТМ) в надземной фитомассе аборигенных хозяйственно ценных растений. Видовую специфичность уровней аккумуляции ТМ растениями анализировали по величинам коэффициентов накопления (K_n) – отношения содержания элементов в надземной фитомассе к содержанию их подвижных форм в образцах сопряженно отобранной почвы ризосферы. Установлены диапазоны видовых значений K_n по каждому из изучаемых элементов: Pb (0–0,29); Cd (0–27,8); Ni (0,2–12,6); Cu (0,09–10,7); Zn (0,8–31,5); Mn (0,15–69,0); Fe (0,01–0,75). По накопительной способности отдельных элементов исследуемые виды дифференцированы на группы накопителей ($K_n \geq 2$),

индикаторов ($K_n = 1-2$) и исключателей ($K_n \leq 1$). Предлагается использовать установленные значения K_n ТМ как наиболее информативные фоновые показатели для сравнительных оценок и мониторинговых наблюдений природных экосистем в будущем.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, хозяйственно ценные растения, тяжелые металлы, микроэлементы, коэффициент накопления.

A. M. MIALIK¹, M. M. DASHKEVICH², V. A. GALUC²

NATIVE PLANTS SPECIES PECULIARITIES OF HEAVY METALS ACCUMULATION IN OVERGROUND PHYTOMASS IN THE BELARUSIAN POLESIE CONDITIONS

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: aleksandr-myalik@yandex.ru

²Polesie agroecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Belarus,
e-mail: olga_galuc@list.ru

Annotation. The article analyzes the coefficients of heavy metals (HM) and trace elements accumulation by some economically useful plants of the native flora in the Belarusian Polesie conditions. The ranges of species coefficient values for some HM were established: Pb (0–0,29); Cd (0–27,8); Ni (0,2–12,6); Cu (0,09–10,7); Zn (0,8–31,5); Mn (0,15–69,0); Fe (0,01–0,75). The revealed values are the most informative indicators that allow us to identify groups of plants with different ability to accumulate HM. Since the studied samples of plants and soils were collected in the conditions of natural ecosystems of the Belarusian Polesie, are distanced from technogenic pollution sources, the obtained values of accumulation coefficients can be considered as background and used for comparative assessments and monitoring observations in the future.

Keywords: Belarusian Polesie, economically valuable plants, heavy metals, overground phytomass, trace element composition, accumulation coefficient.

УВОДЗІНЫ

Не глядзячы на тое, што тэрмін «цяжкія металы» быў упершыню выкарыстаны яшчэ ў 1817 г. нямецкім хімікам Леапольдам Гмеліным, у цяперашні час не існуе адзінага падыходу да вызначэння дадзенай групы элементаў [1]. На сённяшні дзень выдзелены толькі агульныя крытэрыі (шчыльнасць, атамная вага і атамны лік), згодна якім вызначаецца прыналежнасць таго ці іншага хімічнага элемента да цяжкіх металаў [2]. З улікам імклівага павелічэння колькасці ўтрымання некаторых таксічных элементаў (Pb, Cd, Co і інш.) у навакольным асяроддзі, словазлучэнне «цяжкія металы» ўсё часцей разглядаецца з прыродаахоўнага пункту гледжання, што дазваляе пры ўключэнні элемента ў гэтую групу ўлічваць не столькі яго фізічныя і хімічныя ўласцівасці, колькі біялагічную актыўнасць, таксічнасць для жывых арганізмаў і ступень уцягнутасці ў прыродныя і тэхнагенныя цыклы [3]. Варта адзначыць, што сярод цяжкіх металаў маюцца элементы (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn і інш.), неабходныя для нармальнай жыццядзейнасці раслін і жывёл. Гэтыя мікраэлементы ўдзельнічаюць у жыццёва важных працэсах – энергетычным абмене, першасным і другасным метабалізме, гарманальнай рэгуляцыі, перадачы сігналаў і іншых функцыях. Звычайна іх канцэнтрацыі ў тканках і органах раслін невялікія (да 0,001% ад сухой масы клеткі і ніжэй), аднак пры павышэнні ўзроў-

ню ўтрымання ў навакольным асяроддзі, многія нават жыццёва важныя элементы становяцца таксічнымі для ўсіх жывых арганізмаў [4].

З улікам вышэй сказанага, а таксама прымаючы прыярытэтным шлях паступлення цяжкіх металаў у арганізм чалавека і жывёл менавіта з расліннай ежай, вызначаецца высокая актуальнасць пытанняў, звязаных з вывучэннем асаблівасцяў назапашвання цяжкіх металаў гаспадарча карыснымі раслінамі: харчовымі, кармавымі, лекавымі, меданоснымі і араматычнымі.

Паколькі глебы Беларускага Полесся па ўзроўню іх забруджвання цяжкімі металамі знаходзяцца ў адносна спрыяльным аграэкалагічным стане [5], то даследаванне мікраэлементнага складу сабраных тут абарыгенных відаў раслін дазваляе вызначыць блізкія да фонавых узроўні ўтрымання ў іх органах асобных элементаў [6], а таксама каэфіцыенты іх назапашвання, якія адлюстроўваюць відаспецыфічнасць у акумуляцыі раслінамі цяжкіх металаў і мікраэлементаў.

У сувязі з гэтым вызначаецца актуальнасць і мэта дадзенай працы – з улікам атрыманых раней фонавых узроўняў утрымання ў надземнай фітамасе абарыгенных гаспадарча-карысных раслін цяжкіх металаў, вызначыць каэфіцыенты іх назапашвання ва ўмовах натуральных экосістэм Беларускага Полесся.

АБЪЕКТЫ (МАТЭРЫЯЛЫ) І МЕТАДЫ ДАСЛЕДАВАННЯ

Даследаванні мікраэлементнага складу раслін праводзілі на працягу 2016–2018 гг. ва ўмовах натуральных ландшафтаў заходняй часткі Беларускага Палесся. Аdbор проб надземнай фітамасы раслін і глеб з месцаў іх вырастання быў выкананы ў межах фітацэнозаў Брэсцкага, Бярозаўскага, Ганцавіцкага, Івацэвіцкага, Камянецкага, Маларыцкага, Пінскага і Столінскага раёнаў Брэсцкай вобласці. Пры аdbоры ўзораў глеб і раслін, прыярытэт надаваўся натуральным лясным масівам, лугам і балотам, якія знаходзяцца на значным аддаленні ад патэнцыйных крыніц забруджвання – аўтамабільных і чыгуначных шляхоў, а таксама населеных пунктаў з прамысловымі прадпрыемствамі.

Аdbор проб глеб і раслін ажыццяўлялі згодна агульнапрынятым у геахіміі ландшафтаў метадыкам. З фітацэнозаў адбіралі ўсярэдненыя пробы глеб і надземнай фітамасы раслін абарыгенных відаў. Для даследавання выбіралі расліны рознага гаспадарчага выкарыстання (кармавыя, харчовыя, лекавыя, ароматычныя, тэхнічныя) з улікам таксанамічнай прыналежнасці відаў да розных сямействаў і класаў расліннага свету.

Эксперыментальныя даследаванні проб глеб і раслін былі праведзены ў лабараторыях Палескага аграрна-экалагічнага інстытута НАН Беларусі

па стандартных метадыках. Экстракцыя рухомах формаў цяжкіх металаў з глебы праводзілі з дапамогай 1 М НСІ [7]. Пробападрыхтоўка раслінных узораў ажыццяўлялі па стандартным метадыкам. Утрымліванне элементаў у фільтратах глеб і попелных растворах раслін вызначалі на атамна-абсарбцыйным спектрометры з палымным атамізатарам SOLAAR M6 MkII.

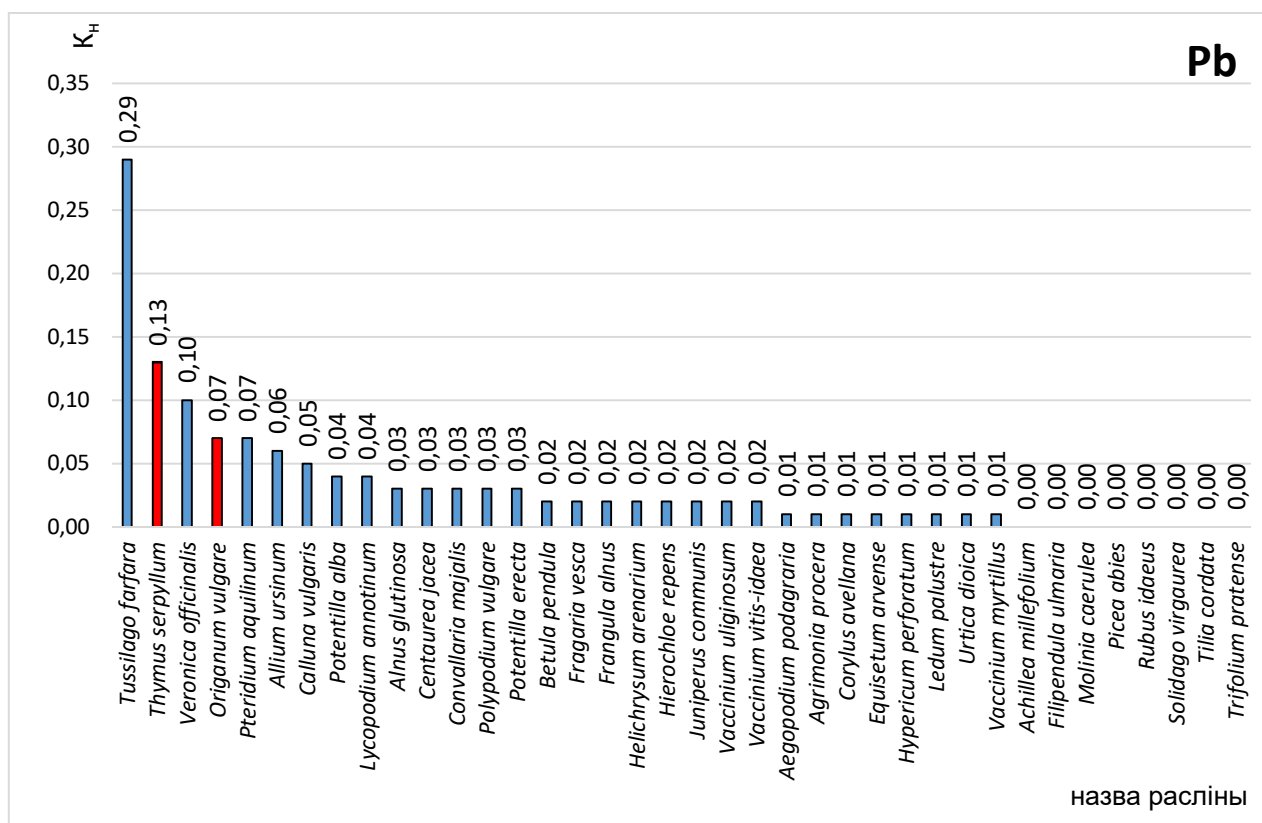
Каэфіцыент назапашвання (K_n) ці біялагічнага паглынання цяжкіх металаў вызначалі як суадносіны сярэдняй канцэнтрацыі элементаў у попеле раслін да іх утрымання ў адпаведнай глебе ($K_n = C_{\text{раслін}}/C_{\text{глеб}}$). Згодна з яго значэннямі ўсе расліны па велічыні акумуляцыі цяжкіх металаў падзяляюцца на макра- ($K_n > 2$), мікра- ($K_n = 1-2$) і дэканцэнтратары ($K_n < 1$) [8]. Па характару назапашвання цяжкіх металаў жывымі арганізмамі ў залежнасці ад геахімічных умоў іх пражывання, даследавання віды раслін можна падзяляць на 3 групы: назапашвальнікі – вызначаюцца павышаным утрыманнем цяжкіх металаў у органах незалежна ад іх утрымання ў глебе ($K_n > 1$); індыкатары – паглынне цяжкіх металаў адбываецца прапарцыйна іх канцэнтрацыі ў глебе ($K_n = 1$); выключнікі – утрыманне цяжкіх металаў знаходзіцца на нізкім узроўні незалежна ад знешніх канцэнтрацый ($K_n < 1$) [9].

ВЫНІКІ ДАСЛЕДАВАННЯЎ І ІХ АБМЕРКАВАННЕ

Усяго было праналізавана 117 глебавых і 301 раслінная проба 98 абарыгенных відаў раслін, якія маюць высокае гаспадарчае значэнне і рэсурсную каштоўнасць. Больш дакладна узроўні назапашвання цяжкіх металаў (свінца (Pb), кадмія (Cd), медзі (Cu), цынка (Zn), нікеля (Ni), марганца (Mn) і жалеза (Fe) былі вывучаны для 38 гаспадарча-карысных відаў, якія аб'ядноўваюцца ў 36 родаў і 21 сямейства, чаму прысвечана асобная публікацыя [6].

З улікам таго, што падчас даследаванняў былі атрыманы звесткі аб узроўнях утрымання рухомах формаў цяжкіх металаў у глебах з месцаў вырастання раслін ёсць магчымасць вызначыць каэфіцыенты назапашвання імі цяжкіх металаў (табл. 1). Паколькі аdbор глебавых і раслінных узораў ажыццяўляўся ў межах фітацэнозаў аддаленых ад патэнцыйных крыніц забруджвання, прыведзеныя звесткі можна разглядаць як фонавыя для заходняй часткі Беларускага Палесся. Прадстаўленыя паказчыкі тычацца ўтрымання цяжкіх металаў толькі ў надземных вегетатывых органах раслін (лісце або трава), згодна іх магчымому выкарыстанню ў гаспадарчых мэтах.

Прадстаўленыя ў табл. 1 звесткі дазваляюць вызначыць каэфіцыенты ($K_n = C_{\text{раслін}}/C_{\text{глеб}}$) назапашвання, якія з'яўляюцца найбольш інфарматыўнымі паказчыкамі, неабходнымі для выяўлення асаблівасцей паглынання цяжкіх металаў раслінамі. Апошнія адлюстроўваюць здольнасць раслін засвойваць элементы з глебы ў залежнасці ад іх экалага-біялагічных уласцівасцей. З улікам таго, што дадзеныя паказчыкі, як і велічыні ўтрымання цяжкіх металаў у надземнай фітамасе раслін, шырока змяняюцца як па асобных відах, так і па элементах, можна сцвярджаць пра існуючую відаспецыфічнасць мікраэлементнага складу раслін. Атрыманыя звесткі паказваюць, што найбольш нізкія каэфіцыенты назапашвання характэрныя для Pb і Fe. Больш інтэнсіўна расліны здольныя назапашваць Cd і Ni. Пры гэтым значэнні K_n Cd могуць змяняцца ў вельмі шырокім дыяпазоне. Такія біяфільныя элементы, як Cu, Zn і Mn назапашваюцца раслінамі яшчэ больш інтэнсіўна, аднак у разрэзе асобных відаў дадзеныя паказчыкі таксама могуць істотна адрознівацца [5].



Мал. 1. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання свінца (K_n) у надземнай фітамасе аборыгенных раслін ва ўмовах заходняй часткі Беларускага Палесся

Fig. 1. The values spectrum of lead accumulation coefficients (K_n) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions

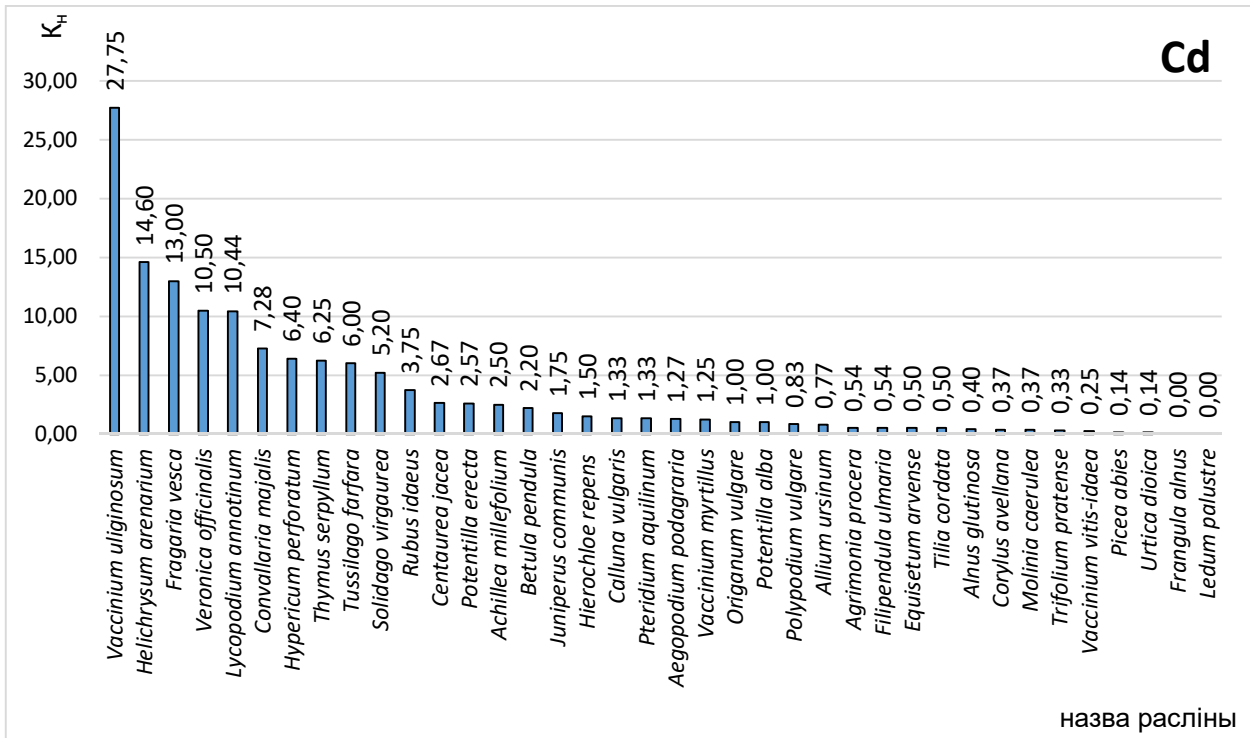
З улікам таго, што для ўсіх даследаваных відаў паказчык каэфіцыента назапашвання свінца не перавышае 0,29, можна адзначыць адсутнасць рызыкі назапашвання свінца раслінамі ў павышаных колькасцях ва ўмовах натуральных экасістэм Беларускага Палесся. Адпаведна ўсе даследаваныя віды адносяцца да групы раслін-дэканцэнтратаў свінца для якіх $K_n < 1$.

Літаратурныя звесткі, а таксама вынікі ўласных даследаванняў паказваюць, што кадмій адносіцца да ліку вельмі рухомых цяжкіх металаў, утрыманне якога ў глебах і органах раслін можа змяняцца ў вельмі шырокіх дыяпазонах нават у межах аднаго фітацэноза [5, 6, 10, 12]. Менавіта таму вызначаныя каэфіцыенты назапашвання дадзенага элемента для розных відаў таксама змяняюцца амаль ад нулявых значэнняў (*Ledum palustre* L., *Frangula alnus* Mill. і інш.) да 27,75 як у *Vaccinium uliginosum* L. (мал. 2).

Пры гэтым атрыманая звесткі пацвярджаюць генетычна абумоўленую залежнасць некаторых відаў раслін да павышанага назапашвання дадзенага элемента. Для такіх відаў як *Vaccinium uliginosum* L., *Lycopodium annotinum* L. і *Helichrysum arenarium* (L.) характэрны найбольш высокія ўзроўні ўтрымання кадмія ў надземнай

фітамасе (больш 0,2 мг/кг), што значна перавышае значэнні гранічна дапушчальных канцэнтрацый [13]. Гэтыя ж таксоны знаходзяцца і сярод раслін з найбольш высокімі значэннямі каэфіцыента назапашвання кадмія, што сведчыць пра патэнцыйную рызыку нарыхтоўкі забруджанай кадміем расліннай сыравіны нават у межах натуральных экасістэм. Да гэтай групы раслін адносяцца і такія каштоўныя харчовыя віды як *Fragaria vesca* L. і *Rubus idaeus* L.

Цікава, што сярод праналізаваных 38 відаў не выяўлена якой-небудзь залежнасці паміж каэфіцыентамі назапашвання кадмія і таксанамічным становішчам ці экалага-біялагічнымі асаблівасцямі раслін. Наадварот устаноўлена, што такія роднасныя віды як *Ledum palustre* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L. і *Vaccinium uliginosum* L. (пробы іх фітамацы і глеб былі адабраныя ў межах адных і тых жа фітацэнозаў), маюць розныя паказчыкі каэфіцыентаў назапашвання. Дадзеная асаблівасць хутчэй за ўсё тлумачыцца не толькі высокай рухомасцю кадмія ў сістэме «глеба-расліна» і аэральным шляхам яго пранікнення ў надземныя органы раслін, а таксама здольнасцю мікарызы дадзеных відаў звязваць цяжкія металы [14].



Мал. 2. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання (K_n) кадмія ў надземнай фітамасе абарыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся

Fig. 2. The values spectrum of cadmium accumulation coefficients (K_n) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions

Атрыманыя звесткі таксама паказваюць, што згодна велічыням акумуляцыі кадмія сярод даследаваных раслін ёсць віды ўсіх асноўных груп: выключнікі ці дэканцэнтратары ў якіх $K_n < 1$ (*Frangula alnus* Mill., *Urtica dioica* L. і інш.); індыкатары ці мікраканцэнтратары з $K_n = 1-2$ (*Aegopodium podagraria* L., *Origanum vulgare* L. і інш.); макраканцэнтратары і назапашвальнікі ў якіх $K_n > 2$ (*Centaurea jacea* L., *Veronica officinalis* L. і інш.). Выяўленыя асаблівасці могуць быць улічаны пры нарыхтоўцы экалагічна чыстых прадуктаў пабочнага лесакарыстання (ягад і лекавай сыравіны).

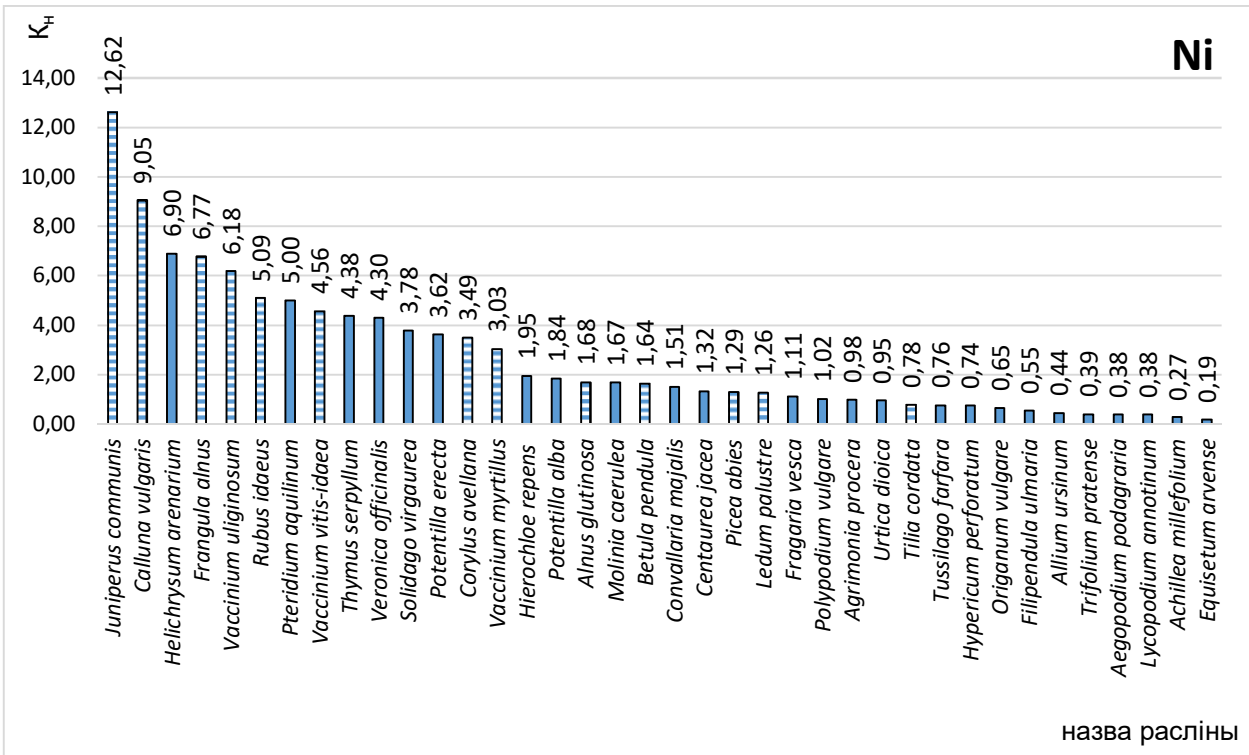
У шырокім дыяпазоне змяняюцца таксама значэнні каэфіцыентаў назапашвання нікеля абарыгеннымі відамі раслін ва ўмовах натуральных экасістэм Беларускага Палесся (мал. 3).

Сярод даследаваных відаў таксама прадстаўлены расліны розных груп: назапашвальнікі (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Potentilla erecta* (L.) Raeusch.), індыкатары (*Fragaria vesca* L., *Polypodium vulgare* L. і інш.) і выключнікі (*Achillea millefolium* L., *Equisetum arvense* L. і інш.).

Пры гэтым вынікі даследаванняў паказваюць, што для дрэвавых раслін (на мал. 3 яны выдзелены шрыхоўкай) характэрны больш высокія значэнні каэфіцыентаў назапашвання нікеля. Такая

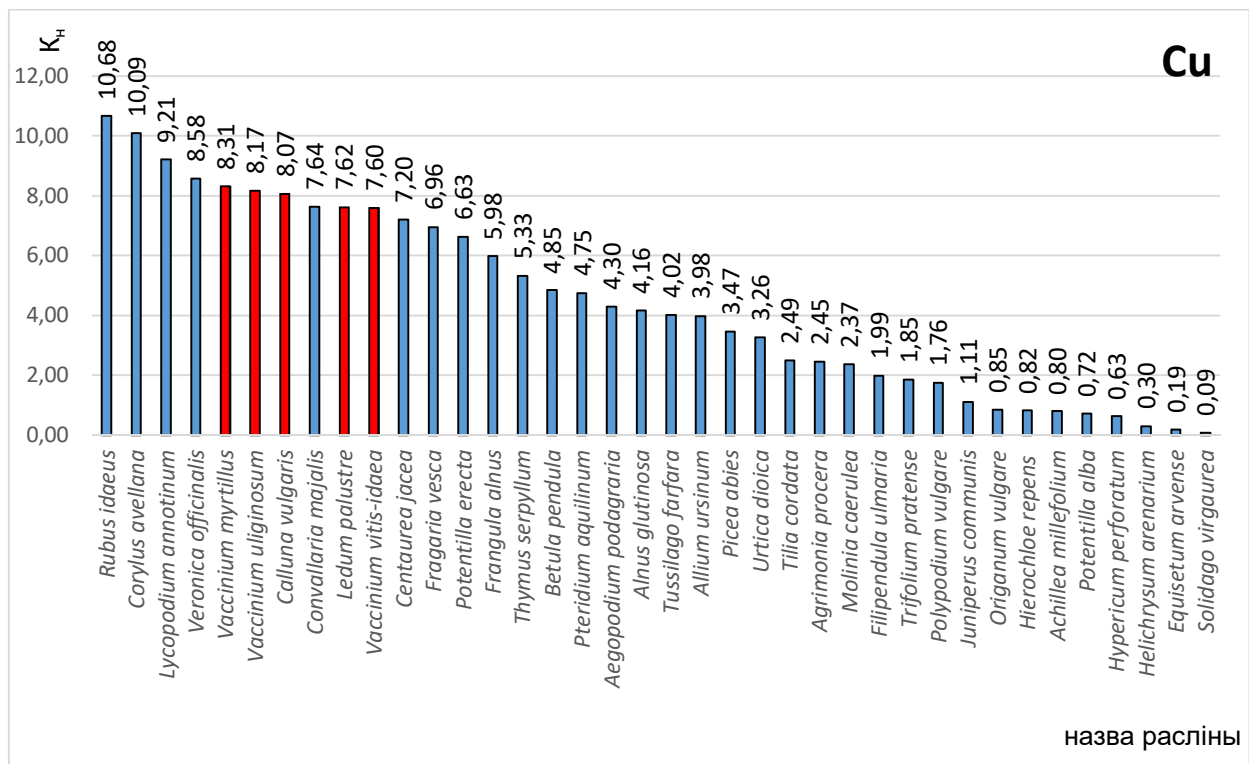
ж асаблівасць была вызначана і пры вывучэнні ўзроўняў утрымання нікеля ў надземнай фітамасе дадзеных відаў [6]. Аднак такія каштоўныя харчовыя і лекавыя расліны як *Juniperus communis* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Rubus idaeus* L. і некаторыя іншыя вызначаюцца генетычна абумоўленай здольнасцю да назапашвання нікеля ў высокіх канцэнтрацыях нават на глебах з адносна спрыяльным аграэкалагічным станам.

У шырокім дыяпазоне (ад 0,09 да 10,68) змяняюцца каэфіцыенты назапашвання раслінамі такога біяфільнага элемента як медзь (мал. 4). Сярод прааналізаваных відаў сустракаюцца расліны з рознай здольнасцю да паглынання дадзенага мікраэлемента з глебы. Напрыклад, макраканцэнтратарамі ці назапашвальнікамі з'яўляецца большасць даследаваных раслін, паколькі медзь неабходна для іх нармальнага росту і развіцця. Сярод такіх відаў *Lycopodium annotinum* L., *Corylus avellana* L., *Convallaria majalis* L. і шэраг іншых. Раслінай індыкатарам утрымання медзі ў глебе можна назваць *Juniperus communis* L. для якога вызначаны K_n блізкі да 1. Нязначная колькасць відаў раслін адносіцца да групы выключнікаў (дэканцэнтратараў) медзі з $K_n < 1$: *Hypericum perforatum* L., *Hierochloe repens* (Host) P.Beauv. і некаторыя іншыя.



Мал. 3. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання (K_{Ni}) нікеля у надземнай фітамасе аборыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся

Fig. 3. The values spectrum of nickel accumulation coefficients (K_{Ni}) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions



Мал. 4. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання (K_{Cu}) медзі у надземнай фітамасе аборыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся

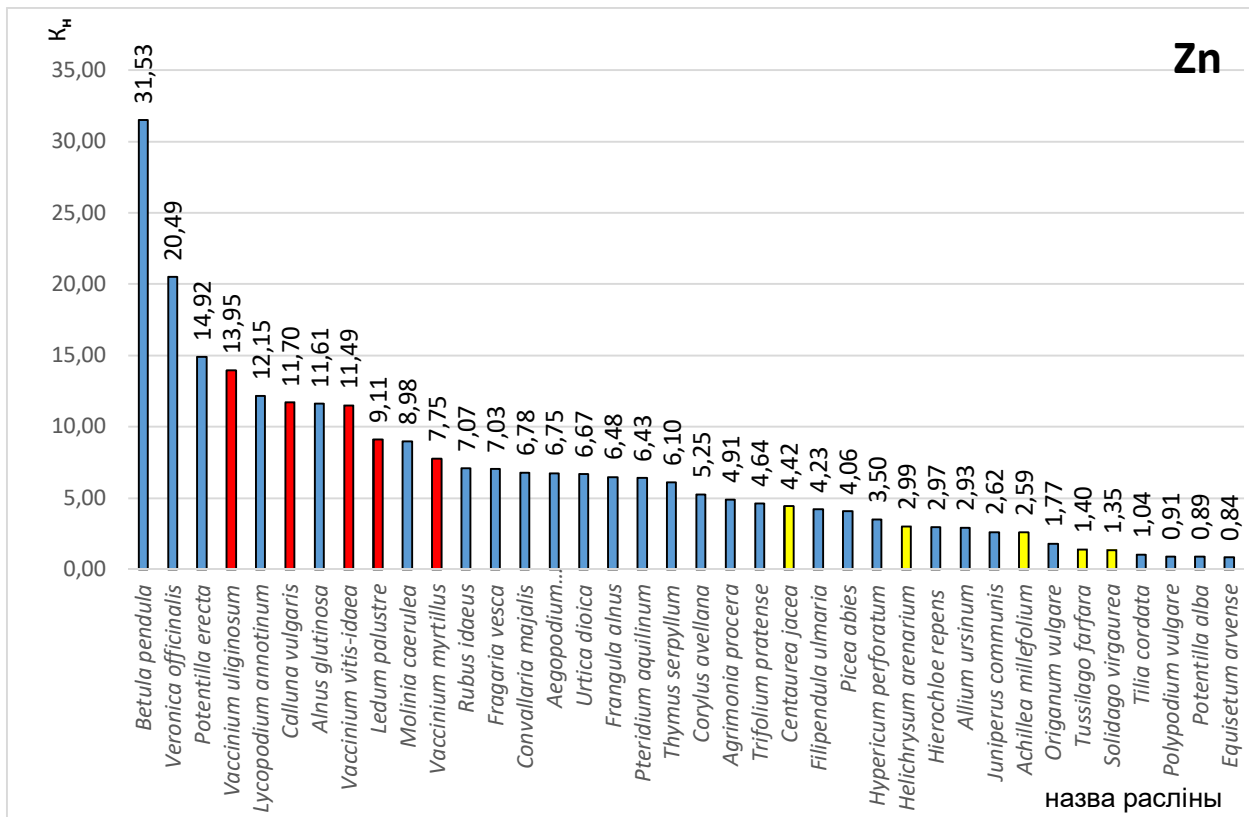
Fig. 4. The values spectrum of copper accumulation coefficients (K_{Cu}) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions

Варта дадаць, што здольнасць пакрытанасенных раслін да больш высокіх узроўняў паглынання медзі з глебы, выяўленая пры даследаванні фонавых узроўняў утрымлівання цяжкіх металаў [6], не пацвярджаецца пры вызначэнні каэфіцыентаў назапашвання дадзенага элемента. Згодна атрыманым звесткам, залежнасць паміж таксанамічным становішчам відаў і каэфіцыентамі назапашвання імі медзі не назіраецца. Пры гэтым для некаторых прадстаўнікоў аднаго сямейства (напрыклад *Egicaseae*) устаноўлены максімальна блізкія значэнні каэфіцыентаў назапашвання (на мал. 4 гэтыя віды выдзелены чырвоным колерам).

Цынк таксама адносіцца да ліку элементаў біяфільнай групы, чым тлумачыцца яго высокае ўтрыманне ў надземнай фітамасе раслін. Аднак каэфіцыенты назапашвання гэтага элемента раслінамі змяняюцца ў вельмі шырокіх межах (ад блізкіх да 1 (*Potentilla alba* L., *Tilia cordata* Mill. і інш.) да 10 і вышэй (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, *Lycopodium annotinum* L. і інш.). Адпаведна сярод прааналізаваных відаў сустракаюцца расліны макра- і мікраанцэнтратары цынку (мал. 5). Пры разглядзе спектра раслін назапашвальнікаў цынка назіраюцца высокія каэфіцыенты назапашван-

ня дадзенага цяжкага метала ў прадстаўнікоў сямейства *Egicaseae* (віды на мал. 5 пазначаны чырвоным колерам). Абумоўлена гэта апісаным вышэй значэннем мікарызы эрыкоідага тыпу ў паглынванні некаторых цяжкіх металаў і асабліва цынку з глебы [14]. Для ўсіх прааналізаваных прадстаўнікоў сямейства *Asteraceae* (выдзелены жоўтым колерам) каэфіцыенты назапашвання цынку адныя з самых нізкіх і знаходзяцца на ўзроўні да 1,35 да 4,42. Прадстаўнікі іншых сямействаў вызначаюцца адрознымі ўзроўнямі акумуляцыі цынку і знаходзяцца ў розных частках спектра раслін назапашвальнікаў дадзенага элемента. Цікава, што вынікі праведзеных раней даследаванняў [6] паказвалі больш нізкія ўзроўні назапашвання цынку ў хвашчоў, дзерападобных, папарацей, голанасенных і аднадольных. Аднак такой залежнасці пры параўнанні каэфіцыентаў назапашвання цынку раслінамі ва ўмовах Беларускага Палесся не назіраецца.

Да ліку элементаў, узроўні ўтрымання якіх ў глебах і раслінах, што на іх вырастаюць, могуць змяняцца ў вельмі шырокіх межах (нават сярод розных проб фітамасы аднаго віду) адносіцца марганец. У глебах Беларускага Палесся дадзены элемент утрымліваецца ў дастаткова высо-



Мал. 5. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання (К_н) цынка у надземнай фітамасе абарыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся

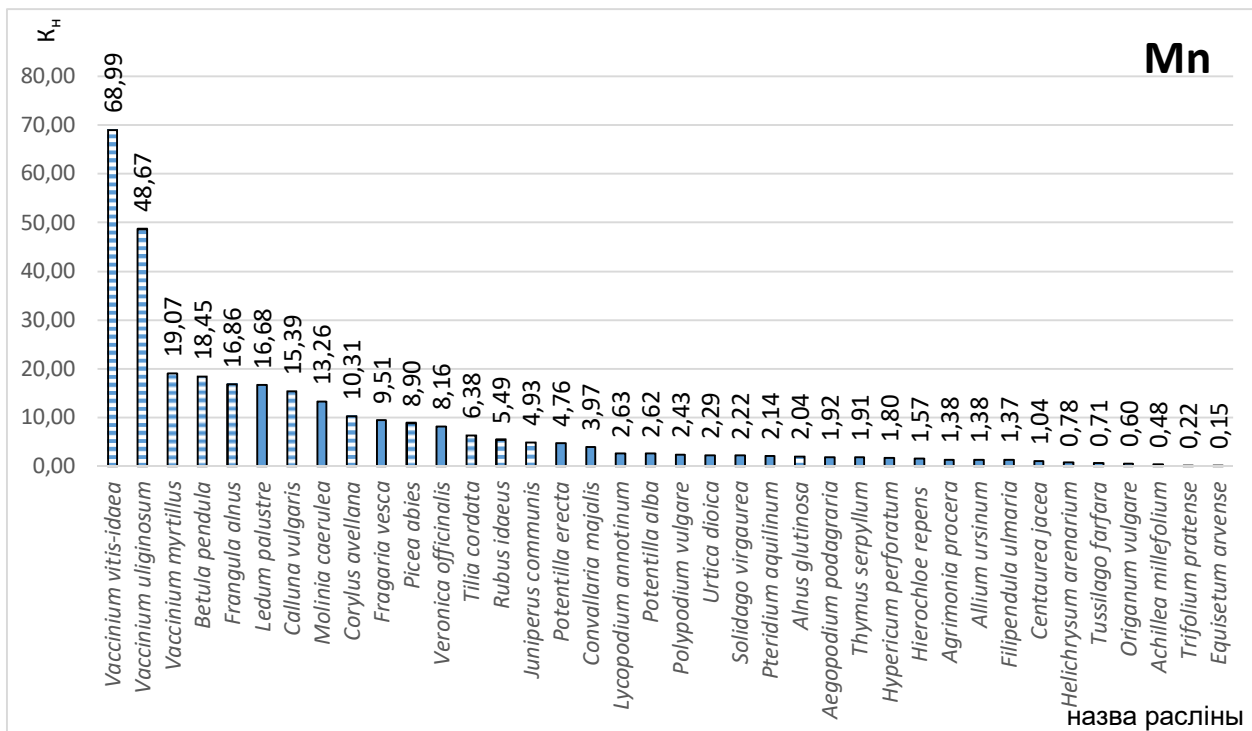
Fig. 5. The values spectrum of copper accumulation coefficients (K_n) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions

кай колькасці (рэгіянальны фон складае 47,61 мг/кг для рухомах форм [5]), чым абумоўлены і высокія ўзроўні яго назапашвання раслінамі. Аднак каэфіцыенты назапашвання марганца для большасці раслін адносна невялікія, што дазваляе аднесці значную колькасць даследаваных відаў да групы індыкатараў ці мікраканцэнтратараў марганца. Напрыклад, такія гаспадарча карысныя расліны як *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, *Thymus serpyllum* L. і іншыя маюць значэнні каэфіцыента назапашвання марганца ў межах ад 1 да 2 (мал. 6). Шэраг раслін (*Equisetum arvense* L., *Trifolium pratense* L., *Origanum vulgare* L. і інш.) увогуле з'яўляюцца дэканцэнтратарамі марганца, хоць дадзены элемент і адносіцца да ліку біяфільных. Набольш высокія каэфіцыенты назапашвання марганца, як і некаторых іншых цяжкіх металаў, характэрны для прадстаўнікоў сямейства *Ericaceae* ($K_n > 15$). Увогуле можна адзначыць, што дрэвавыя расліны (на мал. 6 яны пазначаны штрыхоўкай) вылучаюцца больш высокай генетычна абумоўленай здольнасцю да назапашвання марганца. Дадзеная асаблівасць пацвярджаецца як выяўленымі каэфіцыентамі назапашвання, так і ўстаноўленымі раней узроўнямі ўтрымлівання марганца ў надземнай фітамасе гэтых відаў [6].

Адныя з самых нізкіх каэфіцыентаў назапашвання цяжкіх металаў раслінамі характэрны для

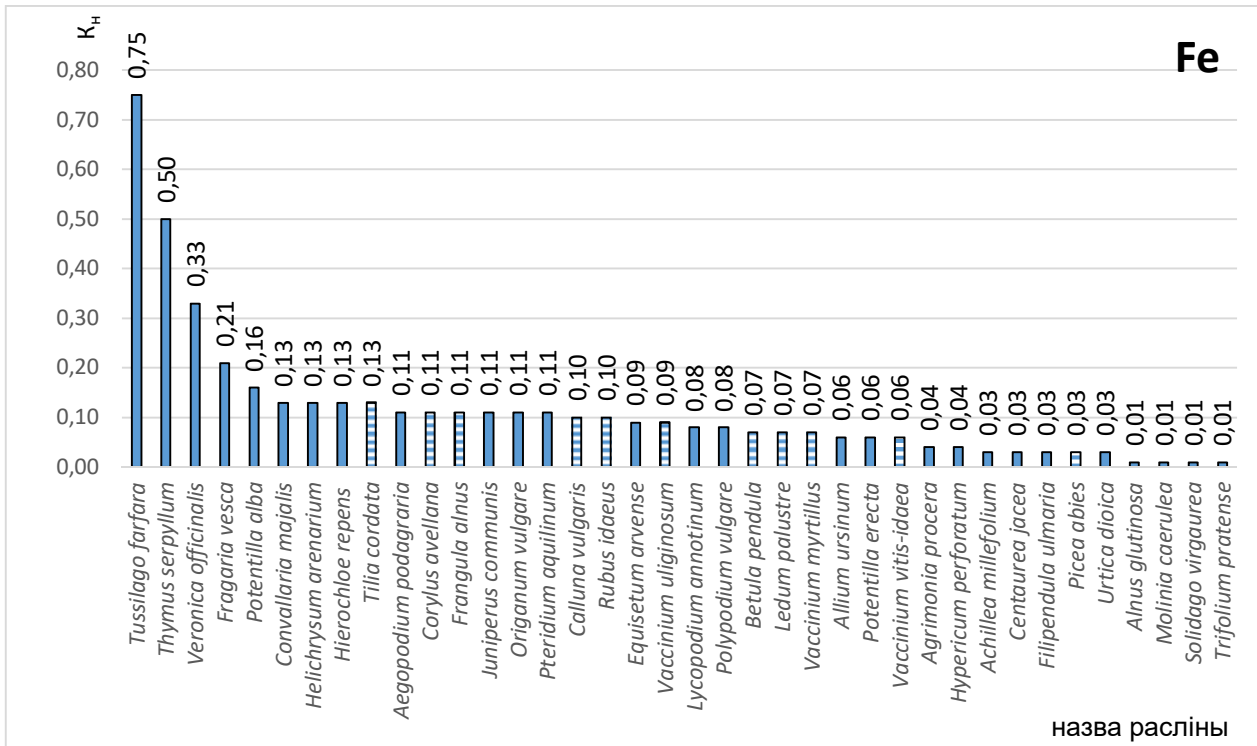
жалеза. Дадзены мікраэлемент у глебах Беларускага Палесся ўтрымліваецца ў дастаткова вялікіх колькасцях, паколькі рэгіянальны фон рухомах формаў дасягае 1084,12 мг/кг (у параўнанні для цынка адпаведны паказчык не перавышае 5,09 мг/кг) [5]. Аднак у тканках і органах раслін жалеза ўтрымліваецца ў адносна невялікіх колькасцях (не больш за 540 мг/кг [6]), што абумоўлівае нізкія значэнні каэфіцыентаў назапашвання дадзенага элемента.

Для большасці даследаваных відаў (*Trifolium pratense* L., *Equisetum arvense* L. і інш.) гэтыя паказчыкі не перавышаюць 0,13 (мал. 7). Толькі такія расліны як *Thymus serpyllum* L., *Tussilago farfara* L. і *Veronica officinalis* L. маюць каэфіцыент назапашвання жалеза больш за 0,33. Адпаведна, ва ўмовах Беларускага Палесся ўсе віды сасудзістых раслін адносяцца да групы мікраканцэнтратараў жалеза ў якіх $K_n < 1$, што выключае магчымасць яго назапашвання ў надземнай фітамасе ў такіх колькасцях. Пры гэтым залежнасці паміж значэннямі каэфіцыента назапашвання жалеза і таксанамічным становішчам раслін не ўстаноўлена, паколькі прадстаўнікі роднасных груп раслін знаходзяцца ў розных частках спектра. Атрыманыя звесткі дазваляюць вызначыць толькі некаторыя экалага-біялагічныя асаблівасці акумуляцыі жалеза вышэйшымі раслінамі. Устаноўлена, што для відаў з



Мал. 6. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання (K_n) марганца у надземнай фітамасе абарыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся

Fig. 6. The values spectrum of manganese accumulation coefficients (K_n) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions



Мал. 7. Дыяпазон значэнняў каэфіцыентаў назапашвання (K_n) жалеза у надземнай фітамасе абарыгенных раслін ва ўмовах Беларускага Палесся

Fig. 7. The values spectrum of iron accumulation coefficients (K_n) by overground mass of native plant species in the Belarusian Polesie conditions

працяглым жыццёвым цыклам (дрэвы, хмызнякі, хмызнячкі) у цэлым характэрны больш нізкія каэфіцыенты назапашвання жалеза (на мал. 7 дадзеныя група раслін выдзелена штрыхоўкай).

Абагульненне атрыманых вынікаў паказвае, што ў шэрагу выпадкаў назіраюцца ўстойлівыя залежнасці паміж здольнасцю раслін да назапашвання пэўных цяжкіх металаў і іх непасрэднымі экалага-біялагічнымі ўласцівасцямі, а таксама таксанамічным становішчам. Напрыклад, нікель і марганец больш інтэнсіўна назапашваюць расліны з працяглым жыццёвым цыклам (дрэвы, хмызнякі, хмызнячкі), а жалеза – наадварот. Прадстаўнікі асобных сямействаў такса-

ма вылучаюцца здольнасцю да назапашвання некаторых элементаў у больш высокіх колькасцях: Lamiaceae – свінца, Ericaceae – цынка, медзі і марганца.

Цікава, што залежнасці, выяўленыя пры разглядзе фонавых узроўняў утрымлівання цяжкіх металаў у надземнай фітамасе раслін, не заўсёды пацвярджаюцца пры аналізе каэфіцыентаў іх назапашвання. Напрыклад, здольнасць нізкаарганізаваных раслін (дзеразападобных, хвашчападобных, папарацей і голанасенных) менш інтэнсіўна паглынаць цяжкія металы, чым пакрытанасенныя, не пацвяджаецца пры аналізе адпаведных каэфіцыентаў іх назапашвання.

ЗАКЛЮЧЭННЕ

У выніку праведзеных даследаванняў устаноўлены значэнні каэфіцыентаў назапашвання цяжкіх металаў у надземнай фітамасе шырока распаўсюджаных абарыгенных відаў раслін Беларускага Палесся, якія маюць важнае гаспадарчае значэнне. Устаноўлена, што дадзеныя паказчыкі залежаць як ад геахімічных асаблівасцяў глебаў з месцаў вырасцання раслін, так і іх экалага-біялагічных характарыстык і таксанамічнага становішча. Значэнні каэфіцыентаў назапашвання з'яўляюцца найбольш інфарматыўнымі паказчыкамі пры выяўленні здольнасці раслін да акумуляцыі

цяжкіх металаў у канкрэтных ландшафтна-геахімічных умовах, а іх выкарыстанне дазволіць прагназаваць магчымасць раслін да назапашвання цяжкіх металаў у павышаных колькасцях і тым самым пазбегнуць экалагічных рызык пры нарыхтоўцы прадуктаў пабочнага лесакарыстання.

Атрыманыя звесткі могуць быць выкарыстаны ў будучым пры выкананні маніторынгавых даследаванняў і высвятленні тэхнагеннага складніка ў змене мікраэлементнага складу аб'ектаў сасудзістых раслін пад уплывам антрапагеннага ўздзеяння.

ПАДЗЯКА

Работа выканана пры фінансавай падтрымцы Беларускага рэспубліканскага фонда фундаментальных даследаванняў, грант БРФФД Навука МХ16М-057.

ЛІТАРАТУРА

1. Nabashi, F. Gmelin and his Handbuch / F. Nabashi // Bull. Hist. Chem. – 2009. – V. 34, N 1. – P. 30–31.
2. Duffus, J. H. “Heavy metals” – a meaningless term? (IUPAC Technical Report) / J. H. Duffus // Pure Appl. Chem. – 2002. – V. 74, N 5. – P. 793–807.
3. Sharma, R. K. Biological effects of heavy metals: An overview / R. K. Sharma, M. Agrawal // J. Environ. Biol. – 2005. – V. 26, N 3/4. – P. 1–13.
4. Williams, L. The plant ionome coning into focus / L. Williams, D. E. Salt // Curr. Opin. Plant Boil. – 2009. – V. 12, N 3. – P. 247–249.
5. Михальчук, Н. В. Фоновое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растительности юго-запада Беларуси как основа для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зелёной экономики / Н. В. Михальчук, А. Н. Мяслик // Эколого-географические проблемы перехода к зелёной экономике / редкол.: В. С. Хомич (гл. ред.). Минск : СтройМедиаПроект, 2019. – С. 266–281.
6. Мяслик, А. М. Назапашванне цяжкіх металаў некаторымі гаспадарча-карыснымі дзікарослымі раслінамі / А. М. Мяслик, М. М. Дашкевіч, В. А. Галуц // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. бот. НАН Беларуси. – Минск: Колорград, 2020. – Вып. 49. – С. 110–123.
7. Кузнецов, А. В. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов. – М. : ЦИНАО, 1992. – 53 с.
8. Ялынская, Н. С. Накопление микроэлементов и тяжелых металлов в растениях рыбоводных прудов / Н. С. Ялынская, А. Г. Лопотун // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, №5. – С. 40–46.
9. Antosiewicz, D. M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals / D. M. Antosiewicz // Acta Soc. Bot. Pol. – 1992. – V. 61. – P. 281–299.
10. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 440 с.
11. Мяслик, А. Н. Субрегиональный природный фон содержания тяжелых металлов и микроэлементов в дерново-подзолистых почвах северо-западной части Припятского Полесья / А. Н. Мяслик, М. М. Дашкевич // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Естественные науки. – 2017. – № 6 (105). – С. 37–43.
12. Алексеева-Попова, Н. В. Микроэлементный состав растений Полярного Урала в контрастных геохимических условиях / Н. В. Алексеева-Попова, И. В. Дроздова // Экология. – 2013. – № 2. – С. 90–97.
13. Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам» : Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21 июня 2013 № 52. – Минск, 2013. – 371 с.
14. Peterson, R. L. Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology / R. L. Peterson, Н. В. Massicotte, L. Н. Melville. – Ottawa, 2004. – 173 p.

Поступила в редакцию 22.11.2022 г.

УДК 625.7/8;504.6:62/69;581.1

А. В. СУДНИК

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ЗАЩИТНЫХ СНЕГОЗАДЕРЖИВАЮЩИХ НАСАЖДЕНИЙ ВДОЛЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: asudnik@tut.by*

Аннотация. В статье приводятся расчеты экономической эффективности создания и функционирования защитных насаждений (снегозадерживающих полос) вдоль автомобильных дорог, устойчивых к неблагоприятному воздействию противогололедных реагентов. Приведенные данные свидетельствуют о том, что снегозадерживающие насаждения из кустарников являются более эффективным и экономичным средством защиты дорог от снега. Общая экономическая эффективность вложений на создание еловых снегозащитных насаждений в среднем в 2,8 раза выше, чем при создании насаждений из солеустойчивых кустарников. Экономическая эффективность мероприятий по устройству защитных снегозадерживающих насаждений из кустарников в расчете на 1 километр дороги (по состоянию на 01.09.2020 г.) составляет за счет снижения стоимости работ при зимнем содержании дорог ежегодно: 24 539,25 руб. или 9 243,35 у.е. – по сравнению с превентивной посыпкой противогололедными реагентами; 9 776,72 руб. или 3 682,66 у.е. – по сравнению с очисткой дорожного покрытия от снежных заносов; 3 988,91 руб. или 1 502,53 у.е. – по сравнению с установкой снегозащитных щитов; 2 529,16 руб. или 952,67 у.е. – по сравнению с установкой снегозащитной сетки.

Ключевые слова: автомобильная дорога, снегозадерживающее насаждение, защита от снега, противогололедные реагенты, сравнительная эффективность.

A. V. SUDNIK

CREATION AND MAINTENANCE FEATURES OF PROTECTIVE SNOW-RETAINING PLANTINGS ALONG ROADS

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: asudnik@tut.by*

Annotation. The article contains calculations of the economic efficiency of the creation and maintenance of protective plantings (snow-retaining strips) along roads that are resistant to the adverse effects of anti-icing reagents. The data indicate that snow-retaining shrub plantings are a more effective and economical means of road protection from snow. The economic efficiency of investments in the creation of spruce snow-protective plantations is on average 2.8 times higher than when creating plantations from salt-tolerant shrubs. The economic efficiency of measures for creation of protective snow-retaining plantings from shrubs per 1 kilometer of the road (on 09/01/2020) is due to a decrease in the cost of work during winter maintenance of roads annually: 24 539.25 BYN or 9 243.35 USD – in comparison with preventive dressing with anti-icing reagents; 9 776.72 BYN or 3 682.66 USD – in comparison with the cleaning of the road surface from snow drifts; 3 988.91 BYN or 1 502.53 USD – in comparison with the installation of snow-protection shields; 2 529.16 BYN or \$952.67 USD – in comparison with the installation of snow-protection net.

Keywords: motor road, snow-retaining planting, protection from snow, anti-icing reagents, comparative efficiency.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее неблагоприятные условия для движения автомобильного автотранспорта и работы дорожной службы в зимний период создают метели, которые приносят к автодороге значительные объемы снега, вызывающие снежные заносы [1]. На зимнее содержание автодорог в Республике Беларусь затрачивается около 40% всех выделяемых на дорогу средств [2]. Защита дорог от снежных заносов обеспечивается при проектиро-

вании земляного полотна, а также применением постоянных и временных средств снегозащиты [3]. Снегозадерживающие посадки являются основным средством снегозащиты. При правильном размещении и соответствующей конструкции они обеспечивают при наличии метели полное задержание приносимого к автомобильным дорогам снега. Снегозадерживающая способность посадок составляет 25–200 м³/м для одно-

рядных полос и 250–300 м³/м для двухрядных, тогда как снегозадерживающая способность щитов составляет 30–120 м³/м [3–5]. Снегомерные и анемометрические наблюдения на автодорогах Беларуси показали, что защитные лесополосы, созданные в соответствии с ДМД 02191.3.019-2009 «Рекомендации по устройству и содержанию технологически устойчивых снегозадерживающих древесно-кустарниковых насаждений вдоль автомобильных дорог общего пользования» [5], являются надежной защитой от снежных заносов.

В Республике Беларусь для защиты автомобильных дорог от снежных заносов в свое время было создано около 5000 км снегозадерживающих насаждений, большая часть из которых приходится на еловые изгороди. Почти 2/3 этих насаждений вырублена вследствие непродуманных решений, что привело к дополнительным затратам в зимнее время на обеспечение защиты автодорог от снежных заносов. Массовое уничтожение (вырубка) защитных древесных насаждений, полезащитных лесных полос и других объектов растительного мира на землях сельскохозяйственного назначения действительно имело место в ряде областей страны. Дорожными организациями в настоящее время преимущественно санитарная рубка кустарников и деревьев, находящихся в аварийном состоянии или угрожающих безопасности дорожного движения.

Роль защитных древесных насаждений вдоль автодорог проявляется в следующих 2-х основных направлениях [3,6]:

– в защите дороги от снега (заносов и перемета), сильных ветров, пыли и как, следствие,

снижении частот, дорожно-транспортных происшествий, обеспечении бесперебойности движения, оптимизации скоростного режима;

– в защите прилегающих к автодорогам природных экосистем, сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и рекреационных объектов от негативного влияния дорог (загрязнения, шума, психоэмоционального воздействия и пр.).

Снегозащитные древесно-кустарниковые насаждения по сравнению с искусственными снегозащитными устройствами (переносные щиты, сетки и т.п.), требуют наименьших затрат труда и средств и при соответствующей конструкции и правильном размещении надежно защищают автодороги от снежных заносов [5]. При этом, затраты по изготовлению, установке (демонтажу) временных средств снегозащиты (щиты, сетка) превышают затраты по уходу за снегозащитными насаждениями потому, что ориентировочный срок службы снегозащитных насаждений составляет 20–40 лет, расчетный срок службы щитов – 5 лет. Следует учитывать, что затраты средств на снегоочистку, включая применение противогололедных реагентов, имеют временный эффект, то есть только на то время, когда проводится снегоочистка, тогда как средства, затраченные на выращивание снегозащитных насаждений, имеют постоянный эффект (пока существуют эти насаждения). В то же время, конструкции снегозадерживающих древесно-кустарниковых насаждений, создаваемые с участием солеустойчивых кустарников, соответствуют всем требованиям, предъявляемым для устройства снегозащитных насаждений [7–9].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет экономической эффективности создания защитных древесно-кустарниковых насаждений (снегозадерживающих полос) вдоль автомобильных дорог определяется, в первую очередь, насколько они эффективно предотвращают заносимость снегом автомобильных дорог и снижают затраты на очистку дорог от снега.

По продолжительности службы все снегозащитные сооружения и устройства делят на постоянные и временные. К постоянным относят средства защиты, которые устраивают при строительстве, реконструкции или ремонте дороги на весь срок ее службы: снегозащитные насаждения, совершенствование форм и параметров земляного полотна, аккумуляционные полки в выемках; железобетонные или деревянные снегозадерживающие и снегопередающие заборы; навесы, галереи и т.д. К временным относят средства защиты, которые ежегодно устраивают или устанавливают осенью, или в начале зимы: снеж-

ные валы и снежные траншеи; деревянные переносные щиты; сетки, полотна и ленты из полимерных или нетканых материалов и др. [3]

Наиболее распространенными средствами для предотвращения образования снежных заносов или уменьшения снеготаносимости на автомобильных дорогах являются как снегозащитные (древесно-кустарниковые) насаждения, так и искусственные сооружения (щиты, сетка) [3].

Для анализа экономической целесообразности создания защитных древесно-кустарниковых насаждений, организации и обустройства различных способов борьбы со снеготаносимостью выбраны следующие категории:

- снегозадерживающие еловые изгороди;
- снегозадерживающие изгороди из кустарников;
- снегозадерживающие планочные щиты из древесины;
- снегозадерживающая сетка;

- превентивная посыпка противогололедными реагентами;
- очистка дорожного покрытия от снежных заносов.

Расчеты выполнены согласно «Методическим указаниям о порядке расчета текущих цен на ресурсы, используемые при строительстве и содержании автомобильных дорог общего пользования», утвержденных Приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.03.2019 № 21-Д [10].

Расчеты приведены применительно к условиям производства работ на автодороге М1/Е30 Брест-Минск-граница Российской Федерации филиала ДЭУ-62 РУП «Минскавтодор-Центр» с объемом снегоприноса максимум 100 м³/м. Расчет произведен на 1 км автодороги М1/Е30. Для посадки ели использована следующая схема: посадка двурядная, шаг посадки – 1 м, в шахматном

порядке. Для посадки кустарника: посадка двурядная, шаг посадки – 0,5 м, в шахматном порядке. Возраст саженцев ели и кустарника – 2 года. Стоимость саженцев взята из ассортимента посадочного материала питомника ГЛХУ «Столбцовский лесхоз». Стоимость щитов, колеи, сетки, концентрата минерального галита и прочих материалов взята из таблицы цен-представителей. Расчет установки щитов и сетки выполнен без учета разрывов [11]. Превентивная посыпка рассчитана на 1 км автомобильной дороги М1/Е30 с учетом ширины проезжей части и обочины (22 м) и максимальных объемов снегоприноса до 100 м³/м. Очистка покрытия от снега (1 раз) рассчитана на 1 километр автодороги М1/Е30 (ширина 22 м – 11 м влево +11 м вправо) – 2 автомашины МАЗ с двумя отвалами и один автогрейдер (для доочистки обочин) – общая ширина захвата отвалов для очистки – 11 метров.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Снегозащитные насаждения – наиболее надежные средства защиты автомобильных дорог от снежных заносов. Они имеют значительно больший срок службы, чем переносные щиты, деревянные заборы. Кроме того, насаждения способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур на прилегающих к дорогам землях, улучшают сохранность земляного полотна, выполняют экологическую и эстетическую функции.

Подбор древесных и кустарниковых пород для снегозащитных насаждений производят с учетом лесорастительных условий каждого конкретного участка, биологических и снегозадерживающих особенностей деревьев и кустарников [12]. Помимо этого, насаждения должны соответствовать следующим требованиям:

- вступать в работу по защите дорог от снежных заносов как можно быстрее после посадки;
- задерживать и распределять снег (приносимый за зимний период) до дороги;
- быть долговечными, солевыносливыми, устойчивыми против снеголома, вредителей и болезней;
- оказывать мелиоративное влияние на прилегающие сельскохозяйственные земли;
- обладать декоративными качествами;
- обеспечивать возможность применения комплексной механизации на всех этапах выращивания и содержания лесонасаждений;
- быть недорогими и доступными.

Из снегозащитных свойств и биологических особенностей самих растений наиболее важными являются густое ветвление и плотность крон в зимнее время, неподверженность снеголому, быстрый рост в первые годы после посадки, ин-

тенсивное возобновление побегов после рубки и обрезки, хорошее порослевое возобновление. Вместе с тем следует учитывать солевыносливость и газоустойчивость подбираемых пород.

Снегозащитные посадки на автомобильных дорогах, создаваемые до последних лет, во многих районах оказались недостаточно эффективными. При объеме приносимого к дороге снега свыше 50 м³ на один погонный метр они не могут обеспечивать защиту дорог от снежных заносов. Больше того, на многих участках автомобильных дорог сформировавшиеся снегозащитные посадки не только не обеспечивают защиту дорог от снега, а зачастую даже усиливают заносы. Часто это связано со значительным изреживанием, а иногда и полным выпадением древостоя.

Одной из лучших хвойных пород для устройства живых изгородей является ель. Еловые изгороди образуют плотную преграду для снеговетрового потока, причём ель наиболее устойчива против снеголома. Однако повсеместное применение еловых изгородей ограничивается высокой требовательностью ели к условиям местопроизрастания. Она может успешно произрастать только на глинистых, суглинистых почвах, а также на супесчаных почвах при условии залегания водоупорной морены не глубже 1 м. Ель не выносит избыточного увлажнения и не дает порослевого возобновления после рубки.

Кроме того, длительное воздушное загрязнение автотранспортом, а также планомерное, регулярное и интенсивное использование противогололедных реагентов приводит к интенсификации гибели деревьев. В поврежденных насаждениях резко увеличивается общее количество сухо-

стойных деревьев и интенсивность отпада. Отмечается также снижение прироста деревьев по высоте в молодняках как за счет снижения абсолютных значений прироста, так и за счет сокращения самого периода роста. По результатам наших наблюдений на дорогах I и II категорий в снегозащитных еловых насаждениях через 2 года количество сухостойных деревьев составляет от 10% до 40% от общего количества растущих деревьев, через 5 лет достигает 80% и более, в некоторых случаях (посадка в выемке и др.) и вовсе погибает.

Как известно, защитные свойства живых изгородей зависят от сомкнутости и приподнятости над землей крон деревьев. Ель является медленнорастущей породой, образует сомкнутую конструкцию со степенью перекрытия крон 30–60% и только к 40–летнему возрасту. Следовательно, на таких участках дорог для предотвращения снегозаносимости потребуются дополнительные мероприятия по снегозащите и снегоочистке со значительными материальными затратами.

Затраты на устройство 1 км еловых снегозадерживающих насаждений включают стоимость материалов, а также затраты на работы по озеленению и содержанию насаждений (в ценах на 01.09.2020 г.). Расчеты показывают, что себестоимость создания, выращивания и ухода за снегозадерживающими насаждениями на 20-летнюю перспективу следующие:

– стоимость закладки елового насаждения – 87 621,4 руб.

– стоимость ухода (единовременной стрижки) елового насаждения – 2 281,30 руб.

Всего на создание и уход – 89 902,7 рублей.

По результатам наших наблюдений ель не является солеустойчивой и солевыносливой породой [7, 9] и при создании снегозащитных посадок из ели на дорогах I и II категорий уже на второй год отпад составляет до 40%, в течении 5 лет – почти 100%. Поэтому в течении 20 лет насаждения будут создаваться как минимум 4 раза, а, следовательно, затраты составят: 359 610,80 рублей (табл. 1).

Таким образом, затраты на создание, выращивание и уход за снегозадерживающими еловыми насаждениями на 20-летнюю перспективу составляют 359 610,80 рублей или 135 456,83 у.е.

Снегозадерживающими и ветроослабляющими свойствами также обладают некоторые кустарники. Только один ряд сомкнутой изгороди из кустарника снижает скорость ветра на 50–60%, а из снеговетрового потока выпадает до 70% переносимого снега.

Кустарники более разнообразны по своим эколого-биологическим свойствам, чем деревья, при интродукции и озеленении проявляют высокий адаптационный потенциал и регенерационные способности. Среди кустарников наибольший интерес для регионального зеленого строительства представляют красивоцветущие, декоративнолиственные и красивоплодные виды, способные компенсировать дефицит таких растений среди деревьев. При создании защитных насаждений из кустарников вдоль автомобильных дорог, одним из главных условий является устойчивость к соляному загрязнению в результате применения в качестве противогололедных реагентов хлорида натрия.

Таблица 1. Сравнительная стоимость различных способов борьбы со снегозаносимостью на 20-летнюю перспективу

Table 1. Comparative cost of various methods of combating snowdrift over on 20-year period

Единица измерения Unit of measurement	Кустарниково-е насаждение / Shrub planting	Еловое насаждение Spruce planting	Снегозащитная сетка Snow protection net	Снегозащитные щиты Snow protection shields	Очистка дорожного покрытия от снежных заносов Clearing of road surface from snow	Профилактическая посыпка Preventive topping
Затраты за 20 лет, руб./ км дороги	129929,36	359610,80	180512,59	209707,61	325463,75	620714,27
Затраты ежегодные, руб./ км дороги	6496,5	17980,5	9025,6	10485,4	16273,2	31035,7
Разница затрат по отношению к защитному насаждению из кустарников, руб./ км дороги ежегодно	–	11484,1	2529,2	3988,9	9776,7	24539,2
Увеличение затрат по отношению к защитному насаждению из кустарников, раз	1,00	2,77	1,39	1,61	2,50	4,78
Разница в затратах по отношению к защитному насаждению из кустарников, %	0,0	176,8	38,9	61,4	150,5	377,7

По результатам анализа солеустойчивости дикорастущих и культивируемых видов деревьев и кустарников флоры Беларуси, используемых при озеленении дорог и населенных пунктов [7] высокоустойчивыми к соляному загрязнению кустарниками являются: аморфа кустарниковая; свидина кроваво-красная; тамариски изящный, мелкоцветковый, развесистый, Хохенакера; шиповники морщинистый, коричнепоморщинистый, майский (коричный), сизый, Шерарда, барбарис Тунберга; в том числе виды, проявляющие склонность к инвазиям, использование которых ограничено: арония черноплодная, карагана древовидная (акация желтая), облепиха обыкновенная, пузыреплодник калинолистный, свидина побегообразующая.

Одним из таких широко применяемых для озеленения и создания свободнорастущих живых изгородей является пузыреплодник, хотя использование его ограничено [13]. Взрослое растение пузыреплодника калинолистного *Physocarpus opulifolius* (L) Maxim. – это хорошо облиственный кустарник высотой до 3 м. Это довольно «скучное» растение имеет много декоративных достоинств. Он хорош своей длительной декоративностью: вначале это молодая листва зелёного цвета, потом непродолжительное обильное цветение – белые цветки в щитковидных соцветиях (июнь-июль), затем плодоношение – плоды, пузыревидные листовки, созревающие в сентябре-октябре, и в завершение бронзовая осенняя окраска листьев. Следует отметить, что пузыреплодник калинолистный устойчив к вредителям и болезням.

Пузыреплодник – быстрорастущее растение, достигает средней высоты 2 м, максимальной – 3 м к 5-летнему возрасту. Опыты показали, что в условиях автодорог I и II категорий выживаемость составляет 85%, т.е. насаждения образуют плотно-сомкнутую конструкцию, в полном объеме выполняющую снегозащитную функцию. Срок эксплуатации насаждения – 20 лет. Эффективность и экономическая целесообразность создания защитных насаждений из пузыреплодника подтверждается расчетами (см. табл. 1).

Затраты на создание, выращивание и уход за насаждениями из пузыреплодника на 20-летнюю перспективу составляют 129929,36 рублей или 48941,30 у.е.

Переносные решетчатые щиты применяются для дополнительной защиты автодорог в качестве самостоятельной защиты заносимых снегом участков и как маневренные средства резервной защиты. Достоинствами щитов являются их простота и сравнительно небольшая стоимость изготовления.

Затраты на устройство 1 км снегозадерживающих планочных щитов включают стоимость материалов, а также затраты на работы по монтажу и демонтажу конструкции. Рассчитывая стоимость необходимых затрат, мы учитывали срок службы щита – 4 года, замену колец подпора и текущий ремонт, а также ежегодный монтаж и демонтаж конструкции.

Расчеты показывают, что затраты на 20-летнюю перспективу на борьбу со снегозаносимостью с помощью планочных щитов следующие:

- приобретение, монтаж и демонтаж 1 раз в 4 года – 104 301,33 руб.;
- замена колец и прочих материалов (8 раз) – 27 334,98 руб.;
- затраты на ежегодный монтаж и демонтаж (15 лет) – 78 071,30 руб.

Затраты на устройство 1 км снегозадерживающих планочных щитов на 20-летнюю перспективу составляют 209 707,61 рублей (см. табл. 1).

Таким образом, затраты на устройство 1 км снегозадерживающих планочных щитов включают стоимость материалов, а также затраты на работы по монтажу и демонтажу конструкции на 20-летнюю перспективу составляют 209 707,61 рублей или 78 991,87 у.е.

Временные снегозадерживающие ограждения из полиэфирной сетки часто применяются как средства профилактики от снежных заносов автомобильных дорог. Монтаж данной конструкции предусматривает защиту от заносов объемом до 75 куб.м. Для предотвращения разрывов в верхней части конструкции протягивают металлическую проволоку. Если зима еще более снежная и существует риск разрыва сетки, рекомендуется ее применение в 2 слоя. Пропускность полотна при этом составляет 60–65%, оно свободно пропускает воздух, солнечный свет, но благодаря специальной форме ячеек из направляющих с увеличенной плоскостью качественно задерживает снег.

Такие конструкции удобны в использовании, т.к. они мобильны. Их можно легко перемещать при смене ветра и менять их расположение в соответствии с погодными условиями. При использовании исключительно пластиковых материалов (сетки, хомутов, столбиков) снегозащитные устройства могут использоваться многократно, в течение ряда лет. Рассчитывая стоимость необходимых затрат, мы учитывали срок службы сетки – 4 года, замену колец подпора (раз в 2 года), а также ежегодный монтаж и демонтаж конструкции.

Расчеты показывают, что затраты на 20-летнюю перспективу на борьбу со снегозаносимостью с помощью сетки следующие:

– приобретение, монтаж и демонтаж 1 раз в 4 года – 68 520,06 руб.,

– замена колеьев и прочих материалов (8 раз) – 24 086,27 руб.;

– затраты на ежегодный монтаж и демонтаж (15 лет) – 52 082,59 руб.

Учитывая, что сетка рассчитана на объемы снегоприноса до $75 \text{ м}^3/\text{м}$, для полного предотвращения снеготаносов требуется многократная превентивная посыпка.

Затраты на посыпку противогололедными реагентами составляют 35 823,67 рублей (см. табл. 1).

Таким образом, затраты на устройство 1 км снегозащитной сетки включают стоимость материалов, а также затраты на работы по монтажу и демонтажу конструкции на 20-летнюю перспективу составляют 180 512,59 рублей или 67 994,80 у.е.

В осенне-зимний период основными работами (помимо оперативного устранения мелких выбоин и повреждений покрытия, герметизации трещин и ремонта деформационных швов) является зимнее содержание автомобильных дорог. Зимнее содержание – это комплекс мероприятий по обеспечению безопасного и бесперебойного движения на автомобильной дороге в зимний период, включающий защиту автомобильных дорог от снежных заносов, устранение зимней скользкости и очистку автомобильной дороги от снега [3, 11].

Примечание: Очистка покрытия от снега (1 раз) рассчитана на 1 километр автодороги М1/Е30 (ширина 22 метров, из которых – 11 метров влево + 11 метров вправо) – 2 автомобиля МАЗ с двумя отвалами и один автогрейдер (для доочистки обочин) – общая ширина захвата отвалов для очистки – 11 метров. По данным БелдорНИИ по Минской области в среднем за зимний период проводятся 135–140 комплексных обработок (посыпка+очистка) + 85 дополнительных превентивных посыпок.

Очистку автомобильных дорог от снега производят специальными снегоочистительными машинами и механизмами. Для предупреждения образования снежного наката проводят обработку покрытия автомобильной дороги противогололедными реагентами после или перед снегоочисткой. К очистке проезжей части и обочин от снега во время снегопадов и метелей приступают в зависимости от уровня требований к автомобильной дороге и максимальной толщины рыхлого снега.

Расчеты показывают, что себестоимость по очистке 1 километра дорожного покрытия от снежных заносов на 20 лет составляет 325 463,75 рублей или 122 594,45 у.е. (см. табл. 1).

Противогололедные реагенты (ПГР) – твердые (сыпучие) или жидкие (растворы) химические искусственные средства, распределяемые по поверхности дорожного покрытия для борьбы с зимней скользкостью и направленные на поддержание в допустимом состоянии элементов объектов дорожного хозяйства в процессе их эксплуатации в зимний период. Сырьем для получения ПГР чаще всего являются природные источники галита (NaCl , каменная соль, поваренная соль), бишофита ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), карналлита ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) или отходы химической, пищевой и производства минеральных удобрений промышленности. К наиболее распространенным отходам относятся сильвинитовые отвалы, образующиеся при получении калийных удобрений и «белые моря» при содовом производстве. В первом случае при обогащении получают ПГР на основе NaCl , во втором – на основе CaCl_2 . На дорогах почти в качестве противогололедного реагента всегда предпочтение отдают более дешевым и доступным ПГМ на основе хлоридов натрия и кальция. Дорогостоящие реагенты – ацетаты и формиаты – используют только там, где это крайне необходимо, например, на аэродромах и ответственных инженерных сооружениях. Применение других соединений существенно ограничивают экологические требования, наличие достаточных сырьевых источников и экономические затраты, связанные с их использованием.

В Республике Беларусь в качестве ПГР используется соль техническая галит, на 96–98% состоящая из хлорида натрия (NaCl), в чистом виде или в смеси с песком (преимущественно в соотношении 1:1). При этом на отдельных участках автомобильных дорог нормы внесения ПГР превышены в 2 и более раз [14].

Соль техническая (галит) – классический противогололедный реагент, известный своей универсальностью и простотой применения. Он является наиболее доступным по цене материалом для обработки дорог, а потому одним из самых популярных.

К основным достоинствам данного средства можно отнести:

- выгодную стоимость;
- эффективность при температуре до $-30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- низкий расход реагента;
- легкость и безопасность использования.

Противогололедные реагенты на основе соли интенсивно снижают силы сцепления ледяной корки с поверхностью дорожного полотна за счет образования рассола – водянистой кашицы из остатков реагента, снега и льда, температура застывания которой ниже, чем температура застывания воды.

Несмотря на все свои преимущества, соль техническая как материал для посыпки дорог, имеет множество недостатков: высыпанная в чистом виде на дороги соль разъедает не только лед и снег, превращая его в кашу, но и асфальт, обувь прохожих, кузова и шины автомобилей, рельсы и контактные сети; пары солей натрия разъедают вставки электропроводов.

Наиболее серьезными проблемами в результате применения химических реагентов для зимнего содержания автодорог являются экологические. Это связано с попаданием в окружающую среду большого количества химических веществ, распределяемых на ограниченной территории. Существуют объективные и субъективные причины, обуславливающие уровень загрязнения окружающей среды компонентами ПГР. Использование поваренной соли в качестве ПГР, в особенности с превышением предельных норм и в сочетании с другими негативными факторами, как связанными, так и не связанными с эксплуатацией дорог, неизбежно ведет к ослаблению и деградации придорожных экосистем.

К объективным причинам относятся: необходимое количество реагентов для решения задач зимнего содержания дорог при используемой технологии, количество зимних осадков и температурные условия их выпадения, химический состав ПГР. К субъективным причинам относится соблюдение принятой технологии зимнего содержания дорог, от чего зависит реально использованный объем ПГР. По этим причинам уровень загрязнения среды компонентами ПГР является переменной величиной. Уровень загрязнения снега в придорожной зоне в свою очередь определяет солевую нагрузку на почву, растения и грунтовые воды.

Примечание: Посыпка галитами (1 раз) рассчитана на 1 км автодороги М1/Е30 с учетом ширины проезжей части и обочины (22 м). По данным БелдорНИИ по Минской области в среднем за зимний период 135–140 комплексных обработок (посыпка+очистка) + 85 дополнительных превентивных посыпок.

Расчеты показывают, что себестоимость применения ПГР на 20 лет составляет 620 714,27 рублей или 233 808,30 у.е. (см. табл. 1).

Совершенствование технологии зимнего содержания дорог, ориентированной на уменьшение экологических последствий применения ПГР, должно, в первую очередь, быть направлено на уменьшение суммарных объемов использования химических противогололедных материалов. На практике же часто бывает, что все совершенствование технологии зимнего содержания сводится лишь к поиску безопасных реагентов. При этом

составы и свойства всех противогололедных материалов, которые реально можно использовать на дорогах, давно известны. Правильное же сочетание и соотношение мероприятий по снегозащите и снегоочистке, которое не всегда соблюдается, является главным условием рациональной организации зимнего содержания дорог.

В последние годы во многих странах практикуется использование хлористого кальция и его смесей в качестве противогололедных реагентов.

Их широкое применение обусловлено рядом преимуществ. Хлористый кальций:

- обладает свойством быстро и глубоко проникать в слой льда;
- плавит лёд, удобряя при этом почву;
- не оставляет следов после уборки на асфальте, бордюрах и тротуарной плитке;
- способствует уменьшению сцепления льда с дорожным покрытием за счет образования рассола;
- при попадании на бетонные покрытия старше одного года не разрушает их;
- не токсичен для людей и домашних животных;
- благодаря повышенной активности реагента нормы расхода существенно снижаются, что позволяет уменьшить экологическую нагрузку на внешнюю среду.

Расходы на использование хлористого кальция за один год составляют: вода – 12,61 руб., кальций хлористый – 52 379,66 руб., прочие расходы – 5 416,94 руб. Итого за год – 57 809,22 руб.

Таким образом, расчеты показывают, что себестоимость применения кальция хлористого на 20 лет составляет 1 156 184,33 рублей, что почти в 2 раза дороже затрат на использование галитов в качестве ПГР.

Суммарные затраты на различные способы борьбы со снегозаносимостью см. в табл. 1. Из расчетов видно, что наименьшие затраты требуются на создание насаждения из солеустойчивого кустарника. Они составили для двурядного насаждения с учетом 20-летнего срока службы 129 929,36 руб. / км. Использование ПГР дороже в 4,8 раза. Суммарные приведенные затраты на защиту дорог посредством щитового ограждения и с помощью снегозадерживающей сетки превышают эти затраты соответственно в 1,6 и 1,4 раза. Общая экономическая эффективность вложений на создание еловых снегозащитных насаждений в среднем в 2,8 раза выше, чем при создании насаждений из кустарника.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что снегозадерживающие насаждения из солеустойчивых кустарников являются более эффективным и экономичным средством защиты дорог

от снежных заносов. При этом создание еловых насаждений в условиях постоянного и интенсивного применения ПГР становится крайне затратным и экономически необоснованным. При отсутствии применения на дорогах технической соли выживаемость еловых насаждений составит около 90%, что уменьшает существенно затраты на восстановление и возобновление посадок, а также уход за ними.

Исследованиями доказано, что надежная защита автодорог при объемах снегоприноса до 100 м³/м может быть обеспечена смешанными или комбинированными посадками различных конструкций из 2–4 рядных насаждений, где в

ближайших к дороге рядах высаживают солеустойчивые высокие кустарники или низкокронные деревья, на удалении – посадки из хвойных пород, в совокупности снижающих скорость ветра до 80%. Расчеты показывают, что наиболее экономически обоснованным является создание 2-рядных комбинированных конструкций из ели и кустарника. Быстрорастущий солевывносливый кустарник является надежной защитой елового насаждения, увеличивает его выживаемость и уменьшает повреждаемость вследствие применения ПГР. Как следствие, значительно повышаются технико-эксплуатационные качества создаваемых насаждений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, экономическая эффективность мероприятий по устройству защитных снегозадерживающих древесно-кустарниковых насаждений вдоль автомобильных дорог в расчете на 1 километр дороги составляет за счет снижения стоимости работ при зимнем содержании автомобильных дорог ежегодно:

– 24 539,25 руб. или 9 243,35 у.е. на 1 км дороги по сравнению с превентивной посыпкой противогололедными реагентами;

– 9 776,72 руб. или 3 682,66 у.е. на 1 км дороги по сравнению с очисткой дорожного покрытия от снежных заносов;

– 3 988,91 руб. или 1 502,53 у.е. на 1 км дороги в год по сравнению с установкой снегозащитных щитов;

– 2 529,16 руб. или 952,67 у.е. на 1 км дороги в год по сравнению с установкой снегозащитной сетки;

Кроме того, эффективность достигается за счет затрат на восстановление и возобновление посадок ели по сравнению с кустарниковыми насаждениями – 11484,07 руб. или 4325,78 у.е. на 1 км дороги ежегодно (по результатам наших наблюдений на дорогах I и II категорий в снего-

защитных еловых насаждениях через 2 года количество сухостойных деревьев составляет от 10 до 40%, через 5 лет достигает 80% и более % от общего количества растущих деревьев, в некоторых случаях погибает полностью).

Таким образом, снегозащитные древесно-кустарниковые насаждения по сравнению с искусственными снегозащитными устройствами (переносные щиты, сетки и т.п.), требуют наименьших затрат труда и средств и при соответствующей конструкции и правильном размещении надежно защищают автодороги от снежных заносов. Следует учитывать, что затраты средств на снегоочистку, включая применение противогололедных реагентов, имеют временный эффект, то есть только на то время, когда проводится снегоочистка, тогда как средства, затраченные на выращивание снегозащитных насаждений, имеют постоянный эффект (пока существуют эти насаждения). В то же время, конструкции снегозадерживающих древесно-кустарниковых насаждений, создаваемые с участием солеустойчивых кустарников, соответствуют всем требованиям, предъявляемым для устройства снегозащитных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самодурова, Т. В. Защита от снега / Т. В. Самодурова, О. В. Гладышева // Автомобильные дороги. – 2013. – №11 (984). – С. 77–80.
2. Чем обрабатывают дороги Беларуси и в какой срок должны убирать снег. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1prof.by/news/v-strane/chem-obrabatyvayut-dorogi-belarusi-i-v-kakoj-srok-dolzhny-ubirat-sneg/>. – Дата доступа: 01.02.2023.
3. Леонович, И. И. Содержание и ремонт автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / И. И. Леонович, Ж. В. Реуг, С. Н. Соболевская. – Минск: БНТУ, 2013. – 68 с.
4. Самодурова, Т. В. Мониторинг накопления снега на снегозаносимых участках автомобильных дорог / Т. В. Самодурова, О. В. Гладышева, Н. Ю. Алимова // Мосты и дороги. – 2012. – Вып. 27. – С. 87–101.
5. Дорожный методический документ ДМД 02191.3.019-2009 «Рекомендации по устройству и содержанию техногенно устойчивых снегозадерживающих древесно-кустарниковых насаждений вдоль автомобильных дорог общего пользования». – Минск: Белавтодор, 2009. – 20 с.

6. Ушаков, В.В. Защита скоростных автомобильных дорог и автомагистралей от снежных заносов / В. В. Ушаков, Д. Ю. Корнеева // Транспортное строительство. – 2014. – № 5. – С. 27–28.
7. Яковлев, А. П. Устойчивость древесно-кустарниковых растений к негативному влиянию противогололедных материалов / А. П. Яковлев [и др.] // Антропогенная трансформация ландшафтов: мат-лы IV Республиканской научно-методической конференции. – Минск, 29–30 сентября 2008 г. – Минск: Изд-во БГПУ, 2008. – С. 98–102.
8. Судник, А. В. Типовая схема проектирования мероприятий по минимизации воздействия автомобильных дорог на растительность придорожных территорий / А. В. Судник, А. П. Яковлев // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов. Материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 110-летию со дня рождения академика Н. В. Смольского (7–9 октября 2015 г., Минск, Беларусь). В 2 ч. Ч.1 / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: В. В. Титок [и др.]. – Минск: Конфидо, 2015. – С. 203–208.
9. Судник, А. В. Ассортимент древесно-кустарниковых растений, устойчивых к загрязнению противогололедными реагентами / А. В. Судник, А. П. Яковлев, А. Н. Скуратович // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Брянск, 6–7 апреля 2016 г.) / отв. ред. А. В. Скок; М-во образования Рос. Федерации, Брян. гос. инженер.-технол. ун-т. – Брянск, 2016. – С. 288–293.
10. Методические указания о порядке расчета текущих цен на ресурсы, используемые при строительстве и содержании автомобильных дорог общего пользования, утв. приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.03.2019 № 21-Д. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=U619e4091>. – Дата доступа: 01.02.2023.
11. ТКП 100-2018 (33200) Порядок организации и проведения работ по зимнему содержанию автомобильных дорог (утв. Постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 10.08.2018 № 19) – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2018. – 78 с.
12. ТКП 337-2017 (33200). Автомобильные дороги. Правила благоустройства и озеленения. – Мн. : М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2017. – 60 с.
13. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского ; Нац. акад. наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 407 с.
14. Судник, А. В. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах / А. В. Судник, И. П. Вознячук // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – Т. 24. – № 6. – 2020. – С. 83–95.

Поступила в редакцию 10.02.2023 г.

УДК 574.36+539.163(546.36+546.42):630*228.8(630*176.322.6)

А. В. УГЛЯНЕЦ, Д. К. ГАРБАРУК

ОЦЕНКА ЗАПАСА ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В КОМПОНЕНТАХ ДУБОВЫХ ЛЕСОВ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЧАЭС И СОДЕРЖАНИЯ В НИХ ^{137}Cs И ^{90}Sr

*Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», г. Хойники, Гомельская обл., Беларусь,
e-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru*

Аннотация. Для дубрав ближней зоны Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) экспериментальным и расчетно-аналитическим методами определены запасы лесных горючих материалов и содержание в них ^{137}Cs и ^{90}Sr . Установлено, что в биогеоценозах дуба накоплено $1,15 \times 10^6$ т абсолютно сухого органического вещества. Биомасса надземных горючих материалов составляет 56,4% от общей, наземных – 12,6% и подземных – 31,0%. Суммарная активность ^{137}Cs в них оценена в $15,03 \times 10^{12}$ Бк, ^{90}Sr – $3,95 \times 10^{12}$ Бк. В надземных горючих материалах сосредоточено 10,9% ^{137}Cs и 15,4% ^{90}Sr от общего их запаса в биогеоценозах дуба, в наземных – 11,8 и 17,7%, в подземных – 77,3 и 66,9% соответственно. Приведено распределение запасов лесных горючих материалов и содержание в них ^{137}Cs и ^{90}Sr по элементам биогеоценозов. Определена потенциальная активность радионуклидов, которые могут быть высвобождены при разных видах лесных пожаров.

Ключевые слова: ЧАЭС, ближняя зона, дубрава, лесной горючий материал, биомасса, активность, ^{137}Cs , ^{90}Sr .

A. V. UHLIANETS, D. K. GARBARUK

ASSESSMENT OF THE FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS RESERVE IN THE OAK FORESTS COMPONENTS IN THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT NEAR ZONE AND THE CONTENT OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr IN THEM

Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, Gomel' region, Belarus, e-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Annotation. For the oak forests of the near zone of the Chernobyl nuclear power plant (CNPP), the stocks of forest fuel materials and the content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in them were determined by experimental and computational-analytical methods. It was found that 1.15×10^6 tons of absolutely dry organic matter were accumulated in the oak biogeocenoses. The biomass of aboveground fuel materials is 56.4% of the total, terrestrial – 12.6% and underground – 31.0%. The total activity of ^{137}Cs in them is estimated at 15.03×10^{12} Bq, ^{90}Sr – 3.95×10^{12} Bq. Aboveground combustible materials contain 10.9% ^{137}Cs and 15.4% ^{90}Sr of their total stock in oak biogeocenoses, terrestrial – 11.8 and 17.7%, underground – 77.3 and 66.9%, respectively. The distributions of stocks of forest combustible materials and the content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in them by elements of biogeocenoses are given. The potential amounts of these radionuclides that can be released during different types of forest fires have been determined.

Keywords: CNPP, near zone, oak forest, forest fuel material, biomass, activity, ^{137}Cs , ^{90}Sr .

ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары на загрязненных радиоактивными веществами территориях, наряду с потерей лесных ресурсов, обуславливают перераспределение радионуклидов в биогеоценозах и перенос их на сопредельные территории. Это вызывает серьезные угрозы для здоровья людей при осуществлении ими хозяйственной деятельности [1]. В зависимости от вида и интенсивности пожара в разной степени сгорают различные элементы фитоценозов, выгорает лесная подстилка. В атмосферу переходит до 3% массы сгоревших лесных горючих материалов (далее ЛГМ) [2], а с дымами в атмосферу возгоняется до 20–50% содержа-

щихся в них радионуклидов [3–5]. В составе аэрозолей они перемещаются воздушными массами на большие расстояния [1, 6]. Это приводит к изменению радиационной обстановки на горящих, горельниках и сопредельных территориях [1, 4].

Наиболее загрязненной радионуклидами территорией в Беларуси является зона эвакуации (отчуждения) (далее ЗО) Чернобыльской атомной электростанции (далее ЧАЭС) [7–9]. В ее границах функционирует Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (далее заповедник), одной из основных задач которого является предупреждение возникновения и туше-

ние лесных и торфяных пожаров. В прилегающей к ЧАЭС и наиболее загрязненной части заповедника на площади 149 тыс. га (68,7% от его территории) образована заповедная функциональная зона (далее ЗЗ) с уровнями плотности загрязнения почв ^{137}Cs более 40 Ки/км² [10]. Ее граница в значительной мере совпадает с границей ближней 30-км зоны ЧАЭС.

Леса заповедника периодически подвергаются пирогенному воздействию. Так, за 1991–2012 гг. пожарами пройдено 25,5 тыс. га его территории, в том числе 17,7 тыс. га лесопокрытой площади [11], за 2012–2019 гг. – 10270,6 и 4516,6 га соответственно [10].

Дубовые леса по шкале И. С. Мелехова [12], которая для условий Республики Беларусь модифицирована И. Э. Рихтером [13], относятся к IV классу природной пожарной опасности и характеризуются слабой горимостью. Тем не менее, в заповеднике лесные пожары существенно ухудшают состояние дубовых насаждений [14], а в 2015 г. привели к их гибели на площади 63,4 га [15].

В заповеднике дубовые леса по состоянию на 2020 г. покрывали 7863 га, что составляло 5,6% лесопокрытой площади [14] и были представлены 11 типами леса – 6 суходольными (условно

плакорными [16]) и 5 пойменными. В экологической группе плакорных дубрав преобладают кисличный (28,8% от площади формации), орляковый (14,2%) и снытевый (10,8%) типы леса, а в группе пойменных – злаково-пойменный (10,7%), прируслово-пойменный (10,8%) и широколиственный (6,2%). На них приходится 75,3% площади формации. В ЗЗ локализовано 62,6% насаждений дуба [10].

В современных условиях потепления климата и роста засушливых явлений в районе расположения заповедника [17, 18] с учетом высоких уровней содержания радионуклидов в компонентах лесных экосистем [8, 9] резко возрастают риски возникновения радиоактивных лесных пожаров и опасность вторичного переноса радионуклидов за пределы белорусского сектора ЗО ЧАЭС [1, 2].

Очевидно, что в складывающейся радиационно-экологической обстановке оценка запаса ЛГМ в дубовых лесах заповедника и содержания в них основных дозообразующих радионуклидов является весьма актуальной задачей.

Цель работы – оценить вклад компонентов дубовых насаждений в ЛГМ ближней зоны ЧАЭС и определить современные запасы в них ^{137}Cs и ^{90}Sr .

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – дубовые насаждения, произрастающие в ЗЗ заповедника. Их типологическая и эдафическая структура согласно материалам лесоустройства [10] приведена в табл. 1. На наиболее распространенные дубравы кисличные, снытевые, прируслово-пойменные и злаково-пойменные приходится 64,6% площади формации. Эти типы леса, представляющие репрезентативную типологическую выборку дубовых лесов в данной зоне [19], использованы в качестве базовых (модельных) при оценке запасов ЛГМ в структурных элементах дубрав и определении в них активности ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Определение таксационных показателей насаждений. В насаждениях перечисленных выше типов леса в августе-сентябре 2021 г. заложили по 5–8 (всего 25) временных пробных площадей (далее ВПП) в разных частях ЗЗ в соответствии с [20] и ТКП 498-2013 (02080) «*Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения*». На каждой ВПП выполняли таксацию древостоев по [21] и глазомерную оценку общего проективного покрытия почвы живым напочвенным покровом (далее ЖНП) в процентах. Расчеты таксационных показателей осуществляли с использованием справочника [22].

Таксационная характеристика древостоев дуба приведена в работе [19].

Запасы лесной подстилки на ВПП определяли на 15 учетных площадках размером 0,5×0,5 м по общепринятой методике [20].

Определение биомассы ЛГМ (в абсолютно сухом весе) в насаждениях дуба выполняли по компонентам биогеоценозов в базовых типах леса экспериментальным и расчетно-аналитическими методами на основе данных собственных исследований, анализа лесоустроительных материалов [10], нормативно-справочной и научной литературы.

Для экстраполяции полученных в модельных типах леса данных на дубовую формацию ЗЗ все типы леса объединили в три группы путем присоединения их к базовым, основываясь на условной близости лесорастительных условий: дубравы орляковая, **кисличная** (модельный) и черничная (1461,0 га / 29,7%); **снытевая**, крапивная и папоротниковая (1051,3 га / 21,4%); **прируслово-пойменная**, **злаково-пойменная**, ольхово-пойменная, широколиственный-пойменная и пойменная (2408,9 га / 48,9%).

Радиологические исследования. На ВПП производили отбор образцов почвы, лесной подстилки, древесины и наружной коры дуба в соот-

Таблица 1. Типологическая и эдафическая структура дубрав в заповедной зоне заповедника**Table 1.** Typological and edaphic structure of oak forests in the protected area of the reserve

Дубравы суходольные (условно плакорные)						
Тип леса	Дубрава орляковая	Дубрава кисличная	Дубрава черничная	Дубрава снытевая	Дубрава папоротниковая	Дубрава крапивная
Тип лесорастительных условий	С2	Д2	С3	Д3	С4	Д4
Площадь, га	252,9	1089,3	118,8	740,3	249,5	61,5
Доля в структуре формации, %	5,1	22,1	2,4	15,0	5,1	1,3
Дубравы пойменные						
Тип леса	Дубрава приуслово-пойменная	Дубрава злаково-пойменная	Дубрава ольхово-пойменная	Дубрава широколиственно-пойменная	Дубрава пойменная	Всего дубрав
Тип лесорастительных условий	А2п, В2п, В3п	С2п, С3п	С4п	Д3п		
Площадь, га	835,7	514,6	385,3	484,8	188,5	4921,2
Доля в структуре формации, %	17,0	10,5	7,8	9,9	3,8	100,0

ветствии с ТКП 499-2013 (02080) «Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения», древесного опада путем пропила ствола валежника цепной бензопилой до центра на расстоянии 1,3 м от корневых лап в соответствии с ТКП 239-2010 (02080) «Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения».

Для расчетов содержания радионуклидов в отдельных компонентах дубрав использованы материалы, полученные ранее на постоянных пунктах наблюдения радиационно-экологического мониторинга заповедника, заложенных в дубравах кисличной, снытевой и приуслово-пойменной.

Подготовку образцов для анализа осуществляли по ТКП 251-2010 (02080) «Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения». Определение A_{γ} ^{137}Cs и ^{90}Sr в образцах почвы, лесной подстилки, древесины и коры дуба выполнено сотрудниками лаборатории спектрометрии и радиохимии заповедника (аттестат аккредитации № ВУ/112 2.2203 от 30.01.2002 г.) инструментально на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (Атомтех, Беларусь).

Обработку материалов исследований и расчеты производили с использованием стандартных пакетов прикладных программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структурными элементами лесного биогеоценоза являются древостой, подлесок, подрост, ЖНП, внеярусная растительность, корни растений, составляющие лесной фитоценоз, а также отпад, лесная подстилка с опадом, фаунистический комплекс, почва и материнская горная порода [23, 24]. В них, за исключением горной породы, продуцируется и (или) аккумулируется органическое вещество, одновременно являющееся и ЛГМ.

Для элементов биогеоценозов дубовой формации и их компонентов в границах ЗЗ оценивали запасы биомассы в абсолютно сухом состоянии с разделением на наземные, надземные и подземные типы ЛГМ [25], а также содержание в них ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Определение биомассы. Оценку фитомассы древостоев дуба выполнили с использованием материалов лесоустройства [10] и источников

[26, 27]. Ее общий расчетный запас в ЗЗ составляет ≈ 804070 т (табл. 2).

Фитомасса подроста и подлеска. На основе данных густоты и высоты этих структурных элементов фитоценозов в модельных типах леса [28, 29] с помощью аллометрических уравнений для фитомассы [30] рассчитали надземную и подземную органическую массу подроста, и надземную массу подлеска по группам дубрав (табл. 3). На основании проведенного ранее подобного анализа для черноольховых лесов [31] подземную фитомассу подлеска дубовой формации приняли равной надземной.

Фитомассу живого напочвенного покрова определяли расчетно-аналитическим методом. Вес надземной фитомассы ЖНП в дубраве орляковой в Беловежской пуше составлял 614 кг/га, кислично-черничной – 425 кг/га, кисличной – 536 кг/га, ясенниково-кисличной – 819 кг/га [32], в сред-

Таблица 2. Запас фитомассы древостоев дуба, т**Table 2.** Stock of phytomass of oak stands, t

Тип леса	Компоненты фитомассы						
	надземная					подземная корни	общая
	древесина	кора	ветви	листья	итого		
Дубрава орляковая	22757	3914	3625	1789	32085	8256	40341
Дубрава кисличная	128406	22086	19472	8104	178068	45925	223993
Дубрава черничная	10841	1865	1675	725	15106	3893	18999
Дубрава снытевая	89013	15310	14019	6683	125025	32225	157250
Дубрава папоротниковая	30254	5204	3950	1826	41234	6047	47281
Дубрава крапивная	8147	1401	1283	612	11443	2949	14392
Дубрава злаково-пойменная	34176	5878	5443	2756	48253	12403	60656
Дубрава ольхово-пойменная	24760	4259	3942	2103	35064	8993	44057
Дубрава прируслово-пойменная	54460	9367	8680	3967	76474	19738	96212
Дубрава ширококравно-пойменная	46190	7945	8012	3285	65432	16744	82176
Дубрава пойменная	10484	1803	1661	943	14891	3826	18717
Итого	459488	79032	71762	32793	643075	160999	804074

Таблица 3. Запас фитомассы подроста и подлеска в дубравах, т**Table 3.** Stock of undergrowth and underwood phytomass in oak forests, t

Группа типов леса	Надземная фитомасса			Подземная фитомасса		
	подрост	подлесок	всего	подрост	подлесок	всего
Дубравы орляковая, кисличная, черничная	85	161	246	105	161	266
Дубравы снытевая, папоротниковая, крапивная	194	123	317	242	123	365
Дубравы пойменные	178	222	400	279	222	501
Итого	457	506	963	626	506	1132

нем – 598 кг/га. В Припятском заповеднике (с 1996 г. национальный парк «Припятский»), расположенном в том же, что и Полесский заповедник Полесско-Приднепровском геоботаническом округе подзоны широколиственно-сосновых лесов [33] и в 130 км северо-западнее от него, запас надземной части травяного покрова в дубрава орляковой был определен в 606 кг/га, черничной – 999 кг/га, крапивной – 257 кг/га и ширококравно-пойменной – 2556 кг/га [34], в среднем – 1104 кг/га. Запас травянистой растительности в дубравах травяных, произрастающих в бассейнах рек Припяти и среднего Днестра, составлял 490 кг/га [35]. В заказнике «Стрельский», расположенном на сопредельной с заповедником территории, фитомасса ЖНП в березняках и ольсах варьировала в диапазоне 95–664 кг/га и имела функциональную зависимость от его проективного покрытия [36]. Для спелых сосняков Среднего Урала также получено уравнение для определения надземной фитомассы ЖНП в зависимости от его общего проективного покрытия [37].

Согласно нашим данным, общее проективное покрытие ЖНП в дубравах кисличных заповедника составляет 67%, снытевых – 85%, прируслово-пойменных – 92%, злаково-пойменных – 72%, в среднем по формации – 78%. Применив предложенное в работе [36] уравнение регрессии, полу-

чаем, что в дубравах кисличных ежегодно продуцируется 769 кг/га сухого вещества ЖНП, снытевых – 1038 кг/га, прируслово-пойменных – 1143 кг/га, злаково-пойменных – 844 кг/га. В среднем для дубовой формации биомасса его равна 933 кг/га. Используя уравнение из работы [37] и проективное покрытие ЖНП в модельных типах леса получили следующие ориентировочные запасы его надземной фитомассы в заповеднике: в дубравах кисличных – 922 кг/га, снытевых – 1413 кг/га, прируслово-пойменных – 1588 кг/га и злаково-пойменных – 1105 кг/га, в среднем – 1244 кг/га.

Средние запасы наземной фитомассы ЖНП по группам типов леса дубрав Полесского заповедника получены как среднее арифметическое значение экспериментальных данных по Припятскому заповеднику [34] и запасов, вычисленных по приведенным в работах [36, 37] формулам, представлены в табл. 4.

Подземную фитомассу ЖНП устанавливали исходя из отношения ее к наземной по литературным данным. В Припятском заповеднике в дубрава орляковой подземная часть фитомассы составляла 1848 кг/га, черничной – 2063 кг/га, крапивной – 503 кг/га и ширококравно-пойменной – 3272 кг/га. Это в 1,3–3,0 раза больше, чем в надземной [34]. Для расчета количества биологической массы корней ЖНП использован сред-

ний коэффициент соотношения подземной фитомассы к наземной в перечисленных выше типах леса, равный 2,15. В итоге суммарная оценочная масса подземных частей ЖНП в дубравах 33 составила ≈ 12040 т (по группам типов леса дубрав 2507, 2045 и 7484 т соответственно), надземных ≈ 5600 т и общая ≈ 17640 т.

Мортмасса отпада. Величину древесного отпада в плакорных дубравах устанавливали по таблицам хода роста нормальных дубовых древостоев по типам леса [22] с корректировкой на их среднюю полноту по материалам лесоустройства [10]. Размер отпада в пойменных типах леса оценивали по вышеуказанным таблицам приравнивая их к суходольным с соответствующими классами бонитета. Для групп типов леса вычисляли средневзвешенную величину отпада. Объемный вес валежника дуба приняли как для дровяной древесины из источника [27]. Суммарная мортмасса отпада в дубравах 33 составила ≈ 42610 т (табл. 5).

Мортмасса лесной подстилки. Средний запас лесной подстилки в модельных типах леса дубрав 33 получен экспериментальным путем на ВПП. Ее биомасса по формации в целом оценивается в ≈ 102430 т (табл. 6).

Запас почвенного гумуса. В засушливые годы объектом горения может стать весь органический

(гумусовый) слой почвы. В сосняках мшистых при низовых пожарах сильной интенсивности содержание гумуса может уменьшаться на 31–91% [25]. Установлено [5], что при верховых лесных пожарах в ЗО ЧАЭС в результате теплового переноса радионуклиды вместе с влагой поднимаются на поверхность почвы и в атмосферу может поступать до 21% запаса ^{137}Cs от его содержания в 20 см слое почвы и до 10,5% – ^{90}Sr . При этом почва значительно обедняется ^{137}Cs до глубины 6,5 см и ^{90}Sr – до глубины 7 см. Если учесть, что основную роль в вертикальной их миграции до глубины 10 см играет биогенный перенос [38], то вполне допустимо, что большая часть ^{137}Cs и ^{90}Sr локализована в гумусе. На основании вышеизложенного сочли целесообразным рассчитать запас гумуса в 7-см минеральных толщах почв дубовых лесов.

В почвах дубрав орляковых, кисличных и черничных Белорусского Полесья усредненное содержание гумуса в верхнем гумусовом горизонте составляет 2,45% [39–42], дубрав снытевых, папоротниковых и крапивных – 4,46% [39, 43, 44], дубрав пойменных – 5,0% [45]. На основе усредненной плотности почв в гумусовых горизонтах по группам типов леса дубрав (1,46, 1,34 и 1,22 г/см³ соответственно), приведенной в работах [39, 42], расчетный запас гумуса в слое почвы 0–7 см 33 составляет ≈ 183420 т.

Таблица 4. Расчет запаса надземной фитомассы живого напочвенного покрова в дубравах

Table 4. Calculation of biological stock of aboveground phytomass of living ground cover in oak forests

Группа типов леса	Запас, кг/га				Общий запас, т
	по [34]	рассчитан по [36]	рассчитан по [37]	средний	
Дубравы орляковая, кисличная, черничная	606, 999	769	822	799	1167
Дубравы снытевая, папоротниковая, крапивная	257	1038	1413	903	949
Дубравы пойменные	2556	1143, 834	1588, 1105	1445	3481
Итого	–	–	–	–	5597

Таблица 5. Расчет мортмассы отпада в дубравах

Table 5. Calculation of the drop-off mortmass in oak forest

Группа типов леса	Объем отпада, м ³		Мортмасса отпада, т
	на 1 га	общий	
Дубравы орляковая, кисличная, черничная	17,2	25129	14575
Дубравы снытевая, папоротниковая, крапивная	19,4	20395	11829
Дубравы пойменные	11,6	27943	16207
Итого	–	–	42611

Таблица 6. Запас мортмассы лесной подстилки в дубравах

Table 6. Stock of forest litter mortmass in oak forests

Группа типов леса	Дубрава орляковая, кисличная, черничная	Дубрава снытевая, папоротниковая, крапивная	Дубравы пойменные	Итого
Средний запас, т/га	21	27	18	–
Общий запас, т	30681	28385	43360	102426

В общем запасе ЛГМ не учитывалась биомасса: – внеярусной растительности, представленной преимущественно лишайниками, из-за незначительного их вклада в биомассу фитоценоза. Средний запас доминирующего в примыкающих к заповеднику сосняках Гомельской области лишайника гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) составляет всего 0,26 кг/га [46]. При экстраполяции его на дубравы суммарный запас лишайников, в сравнении с другими элементами биогеоценозов, является несущественным;

– наземной фауны. Ее зоомасса составляет всего 1–2% от фитомассы леса, при этом на позвоночных животных в широколиственных лесах приходится 1% от общего ее запаса [47]. В лесах умеренного пояса масса позвоночных животных варьирует в диапазоне 3–10 кг/га [48], насекомых-фитофагов – 2–60 кг/га [49]. Обычно с малой энергетической ролью животных при подобных расчетах их зоомассой пренебрегают [47]. Тем более, что большинство представителей этих групп животных способны мигрировать с мест пожаров;

– почвенной мезофауны. Зоомасса данной группы животных в дубравах Беловежской пуши достигает 170 кг/га [50]. Исходя из этого макси-

мальный ее запас в дубравах 33 может приближаться к 800 т. Поскольку основное количество почвенной мезофауны обитает в лесной подстилке и верхних слоях минеральной части почвы [50], то полагаем, что существенная ее часть была учтена в биомассе лесной подстилки и гумусового слоя.

Запас биомассы микробиоты, который в почвах дубовых лесов Полесья достаточно высок [51], учтен в составе биомассы лесной подстилки и гумуса.

Таким образом, запасы биомассы определены для всех значимых элементов биогеоценозов дубовой формации.

Распределение биомассы дубрав и потенциальной тепловой энергии по элементам биогеоценозов дубовых лесов и их компонентам в разрезе типов ЛГМ приведено в табл. 7. Перевод сухого органического вещества в тепловую энергию при его сгорании производили из расчета соответствия 1 г абсолютно сухой органики 5 ккал тепловой энергии [52].

Суммарно в дубовых насаждениях 33 с учетом гумуса в 7 см минерального слоя почвы накоплено 1152,28 тыс. т ЛГМ, соответствующих $5761,4 \times 10^9$ ккал потенциальной тепловой энергии. Средний их запас составляет 23,4 кг/м², что

Таблица 7. Оценка вклада элементов и структурных компонентов дубрав в запас лесных горючих материалов

Table 7. Estimation of the contribution of elements and structural components of oak forests to the stock of forest fuel materials

Элемент	Компонент	Тип лесного горючего материала						Итого		
		надземный		наземный		подземный		т	109 ккал	%
насаждения		т	109 ккал	т	109 ккал	т	109 ккал	т	109 ккал	%
Древостой	древесина	459490	2297,4	–	–	–	–	459490	2297,4	39,88
	кора	79030	395,2	–	–	–	–	79030	395,2	6,86
	ветви	71760	358,8	–	–	–	–	71760	358,8	6,23
	листья	32790	164,0	–	–	–	–	32790	164,0	2,84
	надземная часть	643070	3215,4	–	–	–	–	643070	3215,4	55,81
	корни	–	–	–	–	161000	805,0	161000	805,0	13,97
	всего	643070	3215,4	–	–	161000	805,0	804070	4020,4	69,78
Подрост	надземная часть	460	2,3	–	–	–	–	460	2,3	0,04
	корни	–	–	–	–	630	3,2	630	3,2	0,06
Подлесок	надземная часть	510	2,5	–	–	–	–	510	2,5	0,04
	корни	–	–	–	–	510	2,5	510	2,5	0,04
ЖНП	надземная часть	5600	28,0	–	–	–	–	5600	28,0	0,49
	корни	–	–	–	–	12040	60,2	12040	60,2	1,04
Итого живой части биогеоценоза		649640	3248,2	–	–	174180	870,9	823820	4119,1	71,49
Опад		–	–	42610	213,0	–	–	42610	213,0	3,70
Лесная подстилка		–	–	102430	512,2	–	–	102430	512,2	8,89
Всего без гумуса		649640	3248,2	145040	725,2	174180	870,9	968860	4844,3	84,08
Доля без гумуса, %		67,0		15,0		18,0		100,0		–
Гумус в слое 0–7 см		–	–	–	–	183420	917,1	183420	917,1	15,92
Всего с гумусом		649640	3248,2	145040	725,2	357600	1788,0	1152280	5761,4	100,00
Доля с гумусом, %		56,4		12,6		31,0		100,0		–

в 8,2 раза меньше, чем в черноольшаниках (182 кг/м²) данной территории [31]. Запас ЛГМ без учета гумуса оценен в 968,86 тыс. т, а его сгорание обеспечит выделение $4844,3 \times 10^9$ ккал тепловой энергии.

В биогеоценозах анализируемой формации преобладает надземный тип ЛГМ, на долю которого приходится 67,0% общей биомассы без учета гумуса и 56,4% – с гумусом, подземной – 18,0 и 31,0% и наземной – 15,0 и 12,6% соответственно.

Биомасса крайне неравномерно распределена по элементам биогеоценозов. Основное ее количество (71,5%) сосредоточено в живой части насаждений. В структуре фитоценозов на надземную часть приходится 78,9% массы ЛГМ, на подземную – 21,1%. При этом основная фитомасса сосредоточена в деревьях (97,7%), а остальное ее количество распределено между ЖНП (2,1%), подлеском и подростом (0,2%).

Среди компонентов деревьев максимальным запасом фитомассы выделяется древесина (57,2%), за которой следуют корни (20,0%), кора (9,8%), сучья и ветви (8,9%); замыкают этот ряд листья (4,1%). В надземной части древостоев основная масса также приходится на древесину (71,4%) при долевом участии коры 12,3%, сучьев и веток 11,2%, ассимилирующего аппарата 5,1%.

Удельный вес наземной мортмассы в общем запасе органического вещества биогеоценозов дуба в ЗЗ составляет 15,0% (без гумуса) и 12,6% (с гумусом). На гумус в 7 см минерального слоя почвы приходится 15,9% запаса биомассы от общего в дубравах.

В результате возможного пирогенного воздействия при разных типах лесных пожаров при сгорании ЛГМ в атмосферу, помимо теплоты, будут выноситься радионуклиды, преимущественно наиболее распространенные дозообразователи ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr.

Определение запаса ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в ЛГМ дубрав. Расчеты запасов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в структурных элементах биогеоценозов и их компонентах, кроме верхнего 7-см слоя гумусового горизонта почвы, производили на основе установленных оценочных запасов биомассы, приведенных ранее в тексте и табл. 2–7, и данных по концентрации в них радионуклидов (табл. 8).

Сведения по A_y ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в древесине, коре, отпаде (валежнике) дуба и лесной подстилке дубрав получены в результате настоящего исследования, а в листьях, ветвях и корнях деревьев дуба, в подросте, подлеске и ЖНП – при осуществлении радиационного-экологического мониторинга на постоянных пунктах наблюдения [53, 54].

Таблица 8. Удельная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в компонентах биогеоценозов дубрав, Бк/кг

Table 8. Specific activity of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in components of oak forests biogeocenoses, Bq/kg

Компонент биогеоценоза	Группа типов леса					
	Дубрава орляковая, кисличная, черничная		Дубрава снытевая, крапивная, папоротниковая		Дубрава пойменные	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Древостой						
Древесина	839	166	634	140	1277	359
Кора	2414	2162	1467	1719	3055	7091
Ветви	3915	3074	10194	2075	1676	943
Листья	17570	1375	42466	1746	3788	689
Корни	5024	561	6043	1271	2066	1322
Подрост						
Надземная фитомасса	2919	3699	7181	2448	1196	1596
Подземная фитомасса	8875	3056	9005	2387	1403	1626
Подлесок						
Надземная фитомасса	1355	2760	2329	1497	667	811
Подземная фитомасса	2750	2889	3893	1908	1101	875
Живой напочвенный покров						
Надземная фитомасса	19131	4758	20832	4330	1918	978
Подземная фитомасса	23782	1403	17598	2347	2758	463
Мортмасса						
Отпад	663	174	675	67	894	153
Почва						
Лесная подстилка	16678	3889	16085	4084	17962	10592
Слой 0–20 см с подстилкой	1883	232	2001	527	3227	898
Минеральный слой 0–7 см	1761	202	1838	486	3104	817

Концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в минеральной части почвы ($A_{у\text{мин}}$) для базовых типов леса рассчитали через среднюю массу лесной подстилки ($m_{\text{лп}}$) и минеральную составляющую почвы в слое от подстилки до глубины 0,2 м ($m_{\text{мин}}$) на площади 1 м² с

$$A_{у\text{мин}} \times m_{\text{мин}} + A_{у\text{лп}} \times m_{\text{лп}} = A_{у\text{почвы}} \times (m_{\text{мин}} + m_{\text{лп}}) \quad (1).$$

После его преобразования уравнение для определения $A_{у\text{мин}}$ каждого радионуклида получило следующий вид (2):

$$A_{у\text{мин}} = \{A_{у\text{почвы}} \times [\rho_{\text{мин}} \times (0,2 - t_{\text{лп}}) + m_{\text{лп}}] - A_{у\text{лп}} \times m_{\text{лп}}\} / [\rho_{\text{мин}} \times (0,2 - t_{\text{лп}})] \quad (2),$$

где: $\rho_{\text{мин}}$ – объемная плотность почвы (приведена ранее в тексте), кг/м³; $t_{\text{лп}}$ – полученная экспериментально толщина лесной подстилки, м.

Обращает на себя внимание самая высокая $A_{у\text{}}^{137}\text{Cs}$ в листьях плакорных дубрав, особенно в снытевых, крапивных и папоротниковых типах леса. Очень высокими концентрациями ^{137}Cs и ^{90}Sr характеризуется ЖНП плакорных дубрав, весьма высокими – лесные подстилки всех типологических групп дубовых лесов. Повышенная $A_{у\text{}}^{137}\text{Cs}$ отмечается в подземной фитомассе подроста суходольных дубрав, в ветвях дуба и надземной биомассе подроста группы дубравы снытевой, а ^{90}Sr – в коре дуба в пойменных типах леса. Наименьшая $A_{у\text{}}^{137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr характерна для древесины живых деревьев и их отпада.

Результаты оценки запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах дубрав ЗЗ приведены в табл. 9. Запас ^{137}Cs в ЛГМ дубрав ЗЗ, потенциально доступного к перераспределению внутри биогеоценозов и

использованием данных по содержанию этих радионуклидов в лесной подстилке ($A_{у\text{лп}}$) и отобранных из толщи 0,2 м смешанных образцах минеральной составляющей почвы с лесной подстилкой ($A_{у\text{почвы}}$) (см. табл. 8), исходя из равенства (1):

выносу за их пределы при пирогенном воздействии, оценивается в $15033,7 \times 10^9$ Бк или $301,2$ кБк/м², ^{90}Sr – в $3950,4 \times 10^9$ Бк или $80,3$ кБк/м². Это составляет 0,018 и 0,040% от общей активности этих радионуклидов, выброшенных в ходе аварии на ЧАЭС (85×10^{15} Бк ^{137}Cs и 10×10^{15} Бк ^{90}Sr – [55]). Соотношение рассчитанных вкладов ^{137}Cs к ^{90}Sr в потенциально доступную для горения суммарную биомассу дубовой формации ЗЗ составляет 3,8:1 при существенных различиях данного показателя по элементам и структурным компонентам фитоценозов (см. табл. 9). В большинстве их, кроме коры дуба и надземной фитомассы подлеска, активность ^{137}Cs выше, чем ^{90}Sr .

В надземных ЛГМ содержится $1636,9 \times 10^9$ Бк ^{137}Cs (10,9% от общего запаса), в наземных – $1779,2 \times 10^9$ Бк (11,8%), подземных – $11617,6 \times 10^9$

Таблица 9. Запасы ^{137}Cs и ^{90}Sr в элементах и структурных компонентах дубрав

Table 9. Stocks of ^{137}Cs and ^{90}Sr in elements and structural components of oak forests

Элемент	Компонент	Запас ^{137}Cs		Запас ^{90}Sr		Запас ^{137}Cs / запас ^{90}Sr
		109 Бк	%	109 Бк	%	
	насаждения	109 Бк	%	109 Бк	%	
Древостой	древесина	433,9	2,89	105,8	2,68	4,1
	кора	188,8	1,26	305,3	7,73	0,6
	ветви	339,7	2,26	142,2	3,60	2,4
	листья	623,3	4,15	39,5	1,00	15,8
	итого надземная часть	1585,7	10,56	592,8	15,01	2,7
	корни	668,3	4,45	166,5	4,21	4,0
	итого древостой	2254,0	15,01	759,3	19,22	3,0
Подрост	надземная часть	1,8	0,01	1,1	0,03	1,6
	подземная часть	3,5	0,02	1,3	0,03	2,7
	итого подрост	5,3	0,03	2,4	0,06	2,2
Подлесок	надземная часть	0,6	0,00	0,8	0,02	0,8
	подземная часть	1,2	0,01	0,9	0,02	1,3
	итого подлесок	1,8	0,01	1,7	0,04	1,1
ЖНП	надземная часть	48,8	0,32	13,1	0,33	3,7
	подземная часть	116,3	0,77	11,8	0,30	9,9
	итого ЖНП	165,1	1,09	24,9	0,63	6,6
Отпад		32,1	0,21	5,9	0,15	5,4
Лесная подстилка		1747,1	11,62	694,5	17,58	2,5
Минеральный слой почвы 0–7 см		10828,3	72,03	2461,7	62,32	4,4
Всего		15033,7	100,00	3950,4	100,00	3,8

Бк (77,3%). Активность ^{90}Sr в наземных ЛГМ составляет $607,8 \times 10^9$ Бк (15,4%), в наземных – $700,4 \times 10^9$ Бк (17,7%), в подземных – $2642,2 \times 10^9$ Бк (66,9%) соответственно.

В структуре учтенных элементов биогеоценозов дуба 72,0% запаса ^{137}Cs находится в 7 см слое почвы, 16,2% – в фитомассе растительных сообществ, 11,8% – в мортмассе опада и лесной подстилки. Доля ^{90}Sr в гумусовом горизонте существенно ниже (62,3%), при более высоком удельном весе растительной составляющей (20,0%) и наземной биомассы (17,7%).

В фитоценозах на древостой приходится 92,90% запаса ^{137}Cs , на ЖНП – 6,81%, на подрост – 0,22%, на подлесок – 0,07%. Запасы ^{90}Sr в данных элементах сообществ составляют соответственно 96,32, 3,16, 0,30 и 0,22%. Значимо различается активность радионуклидов в подземной и наземной фитомассе сообществ; для ^{137}Cs она составляет 32,5 и 67,5%, для ^{90}Sr – 22,9 и 77,1%.

В наземной части древостоев содержится 70,4% депонированного ^{137}Cs и 78,1% ^{90}Sr , в подземной – 29,6 и 21,9% соответственно. Весьма существенно различаются распределения запасов аккумулированных радионуклидов по структурным компонентам деревьев дуба. Количество накопленного в их наземной фитомассе ^{137}Cs снижается в ряду: листья (39,3%) > древесина (27,4%) > ветви > (21,4%) > кора (11,9%). У ^{90}Sr этот ряд имеет обратную направленность: кора (51,5%) > ветви (24,0%) > древесина (17,8%) > листья (6,7%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на низкий класс природной пожарной опасности и слабую горимость дубовых лесов, пожары в них возможны и губительны. На загрязненной радионуклидами территории в условиях современных климатических изменений многократно возрастают риски их возникновения и негативные последствия для окружающей среды.

В биогеоценозах дубрав 33 Полесского заповедника современный запас ЛГМ (с учетом гумуса в 7 см минерального слоя почвы) определен в количестве $1,15 \times 10^6$ т абсолютно сухого вещества ($23,4 \text{ кг/м}^2$), соответствующего $5,76 \times 10^{12}$ ккал тепловой энергии ($117,1 \times 10^3 \text{ ккал/м}^2$). Абсолютно сухая масса наземных ЛГМ составляет $0,65 \times 10^6$ т (56,4%), наземных – $0,14 \times 10^6$ т (12,6%), подземных – $0,36 \times 10^6$ т (31,0%).

В структуре биогеоценозов 55,8% органического вещества сосредоточено в наземной части древостоя (древесина – 39,9%, корни – 14,0%, кора – 6,9% и ветви – 6,2%), 15,9% – в гумусе 7-см минерального слоя почвы, 8,9% – в лесной

При низовых пожарах горению в разной степени подвергаются опад, опад, лесная подстилка, наземная часть ЖНП, подрост и подлесок. Потенциальный запас ^{137}Cs в ЛГМ этих компонентов в дубравах 33 составляет $1830,4 \times 10^9$ Бк/га (12,2% от общего) или $37,2 \text{ кБк/м}^2$, ^{90}Sr – $715,4 \times 10^9$ Бк (18,1%) или $14,5 \text{ кБк/м}^2$. Исследованиями [25] установлено, что при низовом пожаре может сгореть до 10% ЛГМ от общего их запаса в биогеоценозе. Следовательно, при аналогичном пирогенном воздействии в дубравах в миграцию может быть вовлечено до $1503,4 \times 10^9$ Бк ($30,5 \text{ кБк/м}^2$) ^{137}Cs и до $395,0 \times 10^9$ Бк ($8,0 \text{ кБк/м}^2$) ^{90}Sr .

При низовых беглых пожарах в сосняках мшистых огнем уничтожается до 30% наземных ЛГМ, низовых устойчивых – до 95%, верховых устойчивых – до 100% [25]. Применение этих показателей к дубравам показывает, что при сгорании этой группы ЛГМ вынос ^{137}Cs при низовых беглых пожарах составит до $533,8 \times 10^9$ Бк ($10,8 \text{ кБк/м}^2$), ^{90}Sr – до $210,1 \times 10^9$ Бк ($4,3 \text{ кБк/м}^2$), низовых устойчивых – ^{137}Cs до $1690,2 \times 10^9$ Бк ($34,3 \text{ кБк/м}^2$), ^{90}Sr – $665,4 \times 10^9$ Бк ($13,5 \text{ кБк/м}^2$), верховых устойчивых – ^{137}Cs до $1779,2 \times 10^9$ Бк ($36,2 \text{ кБк/м}^2$), ^{90}Sr – до $700,4 \times 10^9$ Бк ($14,2 \text{ кБк/м}^2$).

При устойчивом верховом пожаре может быть уничтожена вся наземная и наземная биомасса насаждения, содержащая в дубравах $3416,1 \times 10^9$ Бк ($69,4 \text{ кБк/м}^2$) ^{137}Cs и $1308,2 \times 10^9$ Бк ($26,6 \text{ кБк/м}^2$) ^{90}Sr . Помимо того, согласно [5], из почвы может быть вынесено около 2200×10^9 Бк ($\approx 45 \text{ кБк/м}^2$) ^{137}Cs и 260×10^9 Бк ($\approx 5 \text{ кБк/м}^2$) ^{90}Sr .

подстилке. Доля запасов биомассы в остальных компонентах варьирует в пределах 0,04–3,7%.

В наземной фитомассе дубовых лесов 99,0% запаса органического вещества приходится на древостой, в том числе 70,7% – на древесину, 12,2% – кору, 11,0% – ветви и 5,1% – листья.

При воздействии пирогенного фактора потенциально вовлекаемый в миграцию запас ^{137}Cs оценен в $15,03 \times 10^{12}$ Бк и ^{90}Sr – $3,95 \times 10^{12}$ Бк, что составляет соответственно 0,018 и 0,040% от выброшенного их количества при ядерной катастрофе на ЧАЭС.

В наземных ЛГМ дубрав 33 депонировано 10,9% ^{137}Cs и 15,4% ^{90}Sr от общей их активности в биогеоценозе, в наземных – 11,8% и 17,7%, в подземных – 77,3% и 66,9% соответственно. Запасы радионуклидов различаются по элементам и компонентам биогеоценозов и фитоценозов. Наибольшие их количество аккумулировано в гумусе 7 см слоя почвы (72,0% ^{137}Cs и 62,3% ^{90}Sr), лесной подстилке (11,6 и 17,6%) и наземной фитомассе (10,9 и 15,4%). Основным их депо в

надземной растительности является древесиной (99,0% ^{137}Cs и 92,4% ^{90}Sr). В подросте, подлеске и ЖНП активность радионуклидов незначительная.

Оценены потенциальные объемы выбросов ^{137}Cs и ^{90}Sr при различных видах лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Evangeliou, N. Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen? / N. Evangeliou [et al.] // *Environment International*. – 2014. – № 73. – P. 346–358.
2. Душа-Гудым, С. И. Радиоактивные лесные пожары : справочное пособие / С. И. Душа-Гудым. – М. : ВНИИХлесхоз, 1999. – 158 с.
3. Щербов, Б. Л. Экогеохимическая роль лесных пожаров в Байкальском регионе / Б. Л. Щербаков, В. Д. Страховенко, Ф. В. Сухоруков // *Научный журнал. География и природные ресурсы*. – 2002. – № 2. – С. 60–65.
4. Yoschenko, V. I. Resuspension and redistribution of radionuclides during grassland and forest fires in the Chernobyl exclusion zone: part I. Fire experiments / V. I. Yoschenko [et al.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2006. – № 86. – P. 143–163.
5. Садчиков, В. И. Перераспределение радионуклидов чернобыльских выпадений в почвах при лесных пожарах на территории зоны отчуждения в Республике Беларусь / В. И. Садчиков [и др.] // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2018. – Т. 58, № 2. – С. 1–12.
6. Дворник, А. М. Атмосферный перенос радионуклидов с дымом лесных пожаров / А. М. Дворник, А. А. Дворник // *Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса*. – Гомель, 2007. – Вып. 67. – С. 370–379.
7. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / Ю. А. Израэль [и др.]. – Москва : Фонд «Инфосфера»–НИА–Природа; Минск : Белкартография, 2009. – 140 с.
8. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев [и др.]. – Гомель : Речицкая укрупненная типография, 1999. – 454 с.
9. Переволоцкий, А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Переволоцкий. – Гомель : Институт радиологии, 2006. – 255 с.
10. Лесостроительный проект Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь на 2021–2030 гг. – Пояснительная записка. – Минск, 2020. – 292 с.
11. Кудин, М. В. Горимость лесов белорусского и украинского секторов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / М. В. Кудин // *Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса*. – Гомель, 2014. – Вып. 74. – С. 539–551.
12. Мелехов, И. С. Природа леса и лесные пожары / И. С. Мелехов. – Архангельск : ОГиЗ, 1947. – 57 с.
13. Рыхтэр, І. Э. Лясная піралогія з асновамі радыеэкалогіі / І. Э. Рыхтэр. – Мінск : БДТУ, 1996. – 300 с.
14. Углынец, А. В. Динамика и продуктивность дубрав в условиях отсутствия хозяйственной деятельности на юго-востоке Белорусского Полесья / А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук, С. В. Шумак // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. – 2022. – № 2 (258). – С. 55–66. – <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2022-258-2-55-66>
15. Усеня, В. В. Особенности лесовосстановления на крупных горях Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / В. В. Усеня, Н. В. Гордей, Е. А. Тегленков // *Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса*. – Гомель, 2018. – Вып. 78. – С. 104–113.
16. Юркевич, И. Д. Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования) / И. Д. Юркевич, Н. Ф. Ловчий, В. С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1977. – 288 с.
17. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск: Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
18. Бровка, Ю. А. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата / Ю. А. Бровка, И. В. Буяков // *Природопользование*. – 2020. – № 2. – С. 5–18.
19. Углынец, А. В. Оценка загрязнения древесины и коры дуба ^{137}Cs в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции / А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук // *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. – 2022. – № 4. – С. 33–45. – <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-4-33-45>
20. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н. И. Базилевич [и др.]. – М. : Мысль, 1978. – 184 с.
21. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]; под общ. ред. В. С. Мирошникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Ураджай, 1980. – 360 с.
22. Таксационно-лесостроительный справочник / М. В. Кузьменков [и др.]. – Минск: Лесное и охотничье хозяйство, 2019. – 335 с.
23. Мелехов, И. С. Лесоведение / И. С. Мелехов. – 4-е изд. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 372 с.
24. Лесоводство с основами ботаники и дендрологии : учеб. пособие / М. С. Лазарева [и др.]. – Минск : РИПО, 2016. – 226 с.

25. Усеня, В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними / В. В. Усеня. – Гомель : Институт леса, 2002. – 206 с.
26. Комплексная продуктивность земель лесного фонда / В. Ф. Багинский [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Багинского. – Гомель : Институт леса, 2007. – 295 с.
27. Изюмский, П. П. Таксация тонкомерного леса / П. П. Изюмский. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 88 с.
28. Углынец, А. В. Распространение подлеска в высоковозрастных дубравах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук, М. В. Кудин // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац VIII Міжнароднай навуковай канферэнцыі «Природнае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 12–14 верасня 2018 г. / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст, 2018. – Вып. 11. – С. 288–290.
29. Углынец, А. В. Предварительное естественное возобновление леса в высоковозрастных дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / А. В. Углынец, М. В. Кудин, Д. К. Гарбарук // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2019. – № 1 (216). – С. 31–41.
30. Уткин, А. И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в Европейской части России / А. И. Уткин [и др.] // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36–46.
31. Гарбарук, Д. К. Потенциальный вклад компонентов черноольховых насаждений заповедной зоны ПГРЭЗ в биомассу лесных горючих материалов и содержание в них ^{137}Cs и ^{90}Sr / Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец, С. В. Шумак // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / НАН Беларусі, ИЭБ им. В. Ф. Купрэвiча. – Минск: Колорград, 2021. – Вып. 50. – С. 123–139.
32. Толкач, В. Н. Надземная фитомасса живого напочвенного покрова в основных типах леса Беловежской пуши / В. Н. Толкач, Л. Е. Дворак // Заповедники Белоруссии. Исследования: сб. науч. тр. / Беловежская пуца. – Минск, 1980. – Вып. 4. – С. 38–53.
33. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Минск : Наука и техника, 1982. – 326 с.
34. Экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника / А. В. Бойко [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1976. – 304 с.
35. Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М. : Наука, 1993. – 293 с.
36. Пехота, А. П. Продуктивность живого напочвенного покрова лиственных лесов республиканского заказника «Стрельский» / А. П. Пехота, С. М. Мижуй, Д. В. Бруй // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларусі, Ин-т леса. – Гомель, 2021. – Вып. 81. – С. 274–281.
37. Фитомасса живого напочвенного покрова в сосняках зеленой зоны г. Екатеринбурга [Электронный ресурс] / И. Л. Трофимова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. – С. 1–68. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12075>. – Дата доступа: 31.05.2022.
38. Щеглов, А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А. И. Щеглов. Москва : Наука, 2000. – 268 с.
39. Антоник, М. И. Почвенно-грунтовые условия произрастания дубрав в Милевичском лесничестве Житковичского лесхоза / М. И. Антоник // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2007. – Вып. XV. – С. 201–204.
40. Герасименко, М. В. Почвообразующие породы и свойства почв суходольных дубрав Белорусского Полесья / М. В. Герасименко, И. В. Соколовский // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. / НАН Беларусі, Ин-т леса. – Гомель, 2008. – Вып. 68. – С. 365–369.
41. Соколовский, И. В. Дерново-подзолистые слабоглеватые и грунтово-глеватые лесные почвы Белорусского Полесья / И. В. Соколовский, А. А. Беспалый // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2013. – № 1. – С. 186–190.
42. Антоник, М. И. Почвенные условия дубовых насаждений юго-западной части Беларусі / М. И. Антоник, В. Н. Босак // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2016. – № 1. – С. 97–101.
43. Соколовский, И. В. Дерново-карбонатные полугидроморфные лесные почвы Белорусского Полесья / И. В. Соколовский, А. А. Беспалый // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларусі, Ин-т леса. – Гомель, 2012. – Вып. 72. – С. 408–412.
44. Соколовский, И. В. Дерновые полугидроморфные лесные почвы Белорусского Полесья / И. В. Соколовский, А. А. Беспалый // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2018. – № 2. – С. 78–84.
45. Беспалый, А. А. Лесорастительные группы почв пойменных дубрав Белорусского Полесья / А. А. Беспалый, И. В. Соколовский // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2012. – № 1. – С. 209–212.
46. Храмченкова, О. М., Цуриков А. Г., Лазарева М. С. Оценка запаса лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в сосновых лесах юго-востока Беларусі / О. М. Храмченкова, А. Г. Цуриков, М. С. Лазарева // Экологический вестник. – 2015. – № 2 (32). – С. 95–100.
47. Значение зоомассы в общей биомассе различных типов ландшафтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6325451/page:2/>. – Дата доступа: 15.05.2023
48. Биомасса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/118/156.htm>. – Дата доступа: 17.04.2023.
49. Лесная энциклопедия : в 2 т. / редкол.: Г. И. Воробьев (гл. ред.) [и др.]. – М. : Сов. энциклопедия, 1985. – 2 т.

50. Козулько, А. Г. Почвенные беспозвоночные лесов Беловежской пушчи: состав, плотность, зоомасса и распределение / А. Г. Козулько, Т. М. Козулько // Сохранение биологического разнообразия лесов Беловежской пушчи. – Каменюки, 1996. – С. 161–182.
51. Антоник, М. И. Почвенно-грунтовые условия и активность микробиоты почв дубовых насаждений юго-западной части Беларуси : автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук : 03.02.13 / М. И. Антоник ; Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2016. – 22 с.
52. Соловьев, В. А. Популяция и биоценоз : учебное пособие / В. А. Соловьев. – Л. : ЛТА, 1985. – 92 с.
53. Углынец, А. В. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr компонентами древостоя, подроста и подлеска в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / А. В. Углынец, Д. К. Гарбарук // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса. – Гомель, 2019. – Вып. 79. – С. 236–247.
54. Гарбарук, Д. К. Загрязнение живого напочвенного покрова ^{137}Cs и ^{90}Sr в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / Д. К. Гарбарук, А. В. Углынец // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест, 2019. – Ч. 1. – С. 205–208.
55. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт / Доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. – Вена : МАГАТЭ, 2008. – 180 с.

Поступила в редакцию 18.05.2023 г.

УДК 502.521:504.5-03;504.6:656

Е. С. ШАВАЛДА¹, А. В. СУДНИК¹,
Н. С. ЮШИН², И. И. ЗИНЬКОВСКАЯ², М. В. ФРОНТАСЬЕВА²**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВОГРУНТА ПОЛОСЫ ОТВОДА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**¹*Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: e.shavalda@gmail.com*²*Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия*

Аннотация. В статье приводятся результаты анализа химического загрязнения почвогрунта полосы отвода вдоль автодорог в экспозициях «выемка», «насыпь» и «нулевое положение» на глубине 0–10 см и 10–20 см относительно поверхности почвы. Показано, что полоса отвода характеризуется повышенным содержанием тяжелых металлов (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn). Наибольшее загрязнение выявлено в прилегающей непосредственно к дороге зоне шириной 0,5–1,5 м. По мере удаления от дорожного полотна отмечается тенденция снижения концентрации тяжелых металлов в почве. Полученные данные свидетельствуют о более высокой степени загрязнения верхних горизонтов (0–10 см) по сравнению с нижними (11–20 см), что определенно указывает на участие антропогенного фактора в накоплении исследуемых элементов в почве полосы отвода. Исключение составляет Pb, концентрация которого преимущественно выше в нижележащих горизонтах. В наибольшей степени в полосе отвода накапливается Zn – уровень его содержания в 3,4 раза превышает ПДК этого элемента в почве. Относительно положения полотна дороги, наиболее высокая степень загрязнения тяжелыми металлами почвы отмечена при пролегании полотна выше прилегающих территорий (дорога в «насыпи»). Также для ряда элементов зафиксировано накопление в кюветах за счет стока атмосферных осадков с загрязненного покрытия дорожного полотна и выше расположенных конструкций полосы отвода (характерно для экспозиций «выемка» и «нулевое положение»).

Ключевые слова: автомобильная дорога, полоса отвода, загрязнение почвогрунтов, тяжелые металлы.

YA. S. SHAVALDA¹, A. V. SUDNIK¹,
N. S. YUSHIN², I. I. ZINICOVSCAIA², M. V. FRONTASYEVA²**THE HEAVY METALS SOILS POLLUTION
OF THE RIGHT-OF-WAY HIGHWAYS IN THE MINSK REGION**¹*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: e.shavalda@gmail.com*²*Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia*

Annotation. The article provides the results of analysis of chemical pollution of the right-of-way of highways in the expositions «notch», «embankment» and «zero position» at different depths relative to the soil surface – 0–10 cm and 10–20 cm. It is shown that the right of way along the highways is characterized by an increased content of heavy metals complex (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn). The zone with a width of 0,5–1,5 m adjacent directly to the road is characterized by the greatest pollution. There was a tendency for the concentration of heavy metals to decrease with distance from the highway. The data presented indicate a high contamination of the upper horizons (0–10 cm) compared to the lower ones (11–20 cm), which reflects the direct anthropogenic contribution to the content of elements in soils. The exception is Pb, whose concentrations are predominantly higher in the underlying horizons. The highest rates of accumulation in the soil are typical for Zn – 3,37 times compared with the MAC. The greatest pollution was noted when the position of the road bed was higher than the adjacent territories (road in the «embankment»). For a number of elements, accumulation in the cuvettes is obvious due to the runoff of atmospheric precipitation from the polluted pavement of the roadway and the higher structures of the right-of-way (typical for the «notch» and «zero position» exposures)

Keywords: highway, right-of-way, soil pollution, heavy metals.

ВВЕДЕНИЕ

Выгодное географическое положение Республики Беларусь в Европе, наличие современных мультимодальных транспортных коридоров, развитие экспорта транспортных услуг являются важным составляющим стабильного развития экономики страны. На современном этапе особенно заметно развитие транспортной инфраструктуры республики и связанных с ней проблем. Например, негативные воздействия на придорожные экосистемы приобретают все большую актуальность в связи с бурным ростом парка автотранспорта, развитием придорожной инфраструктуры, изменением технологий их содержания. Эксплуатация и содержание автодорог может иметь различные последствия, влияющие на состояние придорожных природно-растительных комплексов [1, 2].

В Беларуси доля загрязняющих веществ от передвижных источников (прежде всего автотранспорта) составляет 73,7–84,9% валовых выбросов [3]. При эксплуатации автомобильных дорог придорожные территории подвергаются влиянию загрязнения, связанного с транспортом и содержанием дорог. Транспортное загрязнение характеризуется следующими комплексами элементов: выбросы автотранспорта; компоненты противогололедных реагентов (далее – ПГР); продукты выветривания дорожных материалов, маркировочных красящих веществ, частиц металлов, перевозимых сыпучих грузов, горюче-смазочные материалы и пр. [1, 4]. Загрязнение природных экосистем вдоль дорог носит комплексный характер, поскольку этот процесс складывается из прямого влияния выбросов транспорта, последствий эксплуатации и содержания дорог, экологической ситуации в регионе и т.д. В спектре поступающих с выхлопными газами автомобилей загрязнителей – оксиды углерода и азота, углеводороды, бенз(а)пирен, сажа, пыль, соли тяжелых металлов, другие (до 200) компоненты. Многие из поступающих элементов являются протоплазматическими ядами. Тяжелые металлы – одни из наиболее опасных загрязнителей, поскольку они обладают выраженными канцерогенными свойствами. Фитотоксичность смеси этих соединений остается слабо изученной, а при комплексном воздействии в различных сочетаниях она может усиливаться или ослабляться – проявляется эффект синергизма. Многие из загрязнителей способны накапливаться в почве и растительности. Придорожные биогеоценозы, являясь аккумуляторами и своего рода биологическими фильтрами, способны связывать, трансформировать и локализовать большинство из поллютантов [5].

Длительная эксплуатация транспортных коммуникаций влечет за собой сильное техногенное воздействие на окружающие трансформированные и естественные экосистемы и их компоненты – растительность и почву. На придорожную растительность помимо специфичной межвидовой конкуренции на нарушенных территориях с чужеродными видами наибольшее влияние оказывают постоянные выбросы в атмосферу различных веществ: оксиды серы, азота и углерода, аэрозоли, углеводороды, тяжелые металлы и используемые ПГР. Их пространственное распространение, последствия воздействия на растения и миграция между компонентами биогеоценозов отличаются количественно и качественно. Данные загрязнители накапливаются в клетках и тканях растений, а также по всему почвенному профилю. По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, ежегодно в атмосферу выбрасывается более 1 млн. тонн загрязняющих веществ [6]. Следует отметить положительную тенденцию снижения доли выбросов благодаря современной международной политике многих стран, чьи новшества постепенно внедряются и в Беларуси. Так, например, если учитывать количество выбросов от мобильных источников в 955,3 тыс. тонн / год в 2003 г., то по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в 2021 г. их количество снизилось до 728 тыс. тонн / год или 61,0 % от общего количества выбросов в атмосферный воздух (1192,9 тыс. тонн) [7]. Тем не менее вопросы антропогенного воздействия на придорожную растительность и поиски путей их минимизации остаются наиболее актуальными.

Анализ литературных источников показывает, что наибольшее влияние дороги и максимальные концентрации загрязняющих веществ наблюдаются на расстоянии 5–7 м от дорожного покрытия, опасные концентрации сохраняются до 20–30 м с постепенным снижением на большем расстоянии [1, 4, 8]. Интенсивность и характер их распространения существенно зависят от ряда факторов: типа транспортных средств, интенсивности и скорости движения, типа экосистемы, через которую проходит автомагистраль, а также почвенных и гидрологических условий, климата, направления и скорости ветра, температуры, влажности и т.д. Таким образом, сочетание естественных факторов со стороны прилегающей местности, через которую проложена дорога, и собственно антропогенной

специфики можно расценивать как стрессовое и моделирующее воздействие на растительные сообщества.

Почва играет важную роль буфера и детоксиканта автомобильных выбросов. Аккумулируя в себе тяжелые металлы, пестициды (в ситуации примыкания к полосе отвода агрофитоценозов), углеводороды, детергенты, другие химические загрязняющие вещества, она ограничивает их поступление в грунтовые воды и очищает от них атмосферный воздух. В почвенном покрове многие из канцерогенов претерпевают существенные изменения – возможна их минерализация или трансформация почвенной микробиотой в вещества, оказывающие менее токсичное действие или не оказывающие токсичного воздействия на другие микроорганизмы, растения, животных и человека [9]. А с другой стороны – они или их производные, а также тяжелые металлы, фтор, оксиды азота и серы интенсивно связываются минеральными и органическими соединениями в почве, что резко

снижает доступность последних растениям и кардинально влияет на общий уровень токсичности почв [10].

Для оценки состояния природной среды и последствий эксплуатации дорог с различным уровнем транспортной нагрузки необходимо иметь представление о миграции и аккумуляции загрязнителей в природных средах придорожных территорий. Поллютанты, включаясь в природные миграционные потоки, перераспределяются в природных компонентах и способны в будущем придать новые черты ландшафтно-геохимической обстановке, не только отличающие ее от фоновой, но и усугубляющие последствия влияния дорог. Важно отметить, что повышение концентрации в почве тяжелых металлов не всегда приводит к отрицательному воздействию на придорожные экосистемы (допустимо до превышения предельных концентраций), так как некоторые из них участвуют в физиологических процессах и необходимы живым организмам [11].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом настоящего исследования являлось загрязнение полосы отвода вдоль автомобильных дорог комплексом тяжелых металлов (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) – элементов, широко и в значительных количествах присутствующих в выбросах автотранспорта и в результате накопления во внешней среде представляющих серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств [12].

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 2.12.1994 № 3434-ХП «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности», полоса отвода представляет собой земельные участки (независимо от категории земель), которые предназначены для размещения конструктивных элементов автомобильной дороги. Размеры полосы отвода определяются на основании проектной документации автомобильной дороги с учетом ее категории, а также необходимости размещения на ней дорожных сооружений, объектов дорожного сервиса, иных объектов, предусмотренных законодательством, но не должны составлять менее двух метров с каждой стороны автомобильной дороги от подошвы насыпи или внешней бровки выемки (кювета).

Выбор региона исследования (модельные участки автодорог Минской области) связан с высоко интенсивным постоянным фактором воздействия автотранспорта на прилегающие фитоценозы. Отличительная особенность данного региона – место пересечения двух самых значимых трансъевропейских коридоров в

транспортной системе Европы, соединяющей весь Евразийский континент.

Наличие сложной структуры рельефа с его повышениями и понижениями, а также естественными преградами обусловили создание конструкций дорожной инфраструктуры в различных экспозициях относительно рельефа. По причине этого, образцы почвы для анализа отбирались в трех экспозициях: «выемка» (насаждения расположены выше полотна дороги более чем на 1 м), «насыпь» (насаждения расположены ниже полотна дороги более чем на 1 м) и «нулевое положение» (насаждения расположены на уровне полотна дороги ± 1 м). В качестве репрезентативных участков для каждой экспозиции пролегания дорожного полотна были выбраны участки дорог за пределами 2-ой минской кольцевой автодороги (табл. 1). Учитывая преобладающее западное и юго-западное направления воздушных масс, отбор образцов почвы проводился только с одной примыкающей к автодороге территории, испытывающей преимущественное загрязнение в результате деятельности автотранспорта (поток воздушных масс со стороны автодороги).

Отбор образцов проводился по секторам. В экспозиции «выемка» выделены 4 сектора: 1 – прилегающая к дороге полоса 0,5–1,5 м; 2 – кювет; 3 – склон; 4 – внешняя бровка выемки (2–4 м); в экспозициях «насыпь» и «нулевое положение» выделены 3 сектора: 1 – прилегающая к дороге полоса 0,5–1,5 м; 2 – склон и кювет; 3 –

Таблица 1. Местоположение участков отбора почвенных образцов**Table 1.** Location of soil sampling sites

Экспозиция / Exposition	Район исследования / Study area	Координаты / Coordinates
«Выемка»	Участок дороги М4, д. Грузгаловка, Минский р-н, Минская обл-ть	53°46'27.5"N 27°51'20.3"E
«Выемка»	Участок дороги Р1, д. Красная Горка Дзержинский р-н, Минская обл-ть	53°43'01.6"N 27°14'25.6"E
«Насыпь»	Участок дороги Р53, д. Новая Жизнь, Смолевичский р-н, Минская обл-ть	54°01'50.8"N 27°59'55.0"E
«Насыпь»	Участок дороги М4, г.п. Привольный, Минский р-н, Минская обл-ть	53°47'45.6"N 27°48'41.1"E
«Нулевое положение»	Участок дороги Р53, д. Новая Жизнь, Смолевичский р-н, Минская обл-ть	54°02'11.5"N 28°01'37.1"E
«Нулевое положение»	Участок дороги Р1, д. Красная Горка Дзержинский р-н, Минская обл-ть	53°43'28.4"N 27°15'52.4"E

подошва насыпи или кювета (2–10 м). Для каждого сектора проводился отбор образцов почвы с двух слоев: 0–10 см и 10–20 см. Всего отобрано 40 образцов.

Согласно методическим рекомендациям ГОСТ 17.4.4.022017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» и с учетом специфики территории исследования почва отбиралась методом конверта – для каждого отдельного сектора полосы отвода делалось пять точечных проб по 200 г на расстоянии 5 метров друг от друга параллельно дорожному полотну с последующим смешиванием в объединенную пробу массой около 1 кг [13]. Каждая точечная проба бралась на глубине 0–10 см и 10–20 см. Отобранный почвогрунт высушивали в сушильном шкафу Binder ED 115 при температуре выше 40 °С 30–60 минут. Исследуемый материал гомогенизировали и просеивали через сито с отверстиями до 0,25 мм. Степень нарушения почвогрунтов оценивалась по данным литературных источников [14–16].

Дальнейшая подготовка, химический и спектральный анализы почвы на загрязнение тяжелыми металлами (валовое содержание) проводили на атомно-абсорбционных спектрофотометрах Сатурн-3П1 и ААS-3 в филиале «Центральная лаборатория» РУП «Научно-практический

центр по геологии» (г. Минск, Республика Беларусь) (5 образцов) и на спектрометре Plasma-Quant 9000 Elite в Секторе нейтронного активационного анализа и прикладных исследований Отделения ядерной физики ЛНФ ОИЯИ (г. Дубна, Российская Федерация) (35 образцов). Измерение содержания металлов в жидких и твердых матрицах проводили в соответствии с МВИ МН 3369-2010 «Методика выполнения измерений содержания металлов в жидких и твердых матрицах методом атомной абсорбционной спектроскопии». Подготовку образцов основывали на данных предыдущих работ и методах спектроскопии [17, 18]. Статистический анализ полученных данных выполнен с помощью программы Microsoft Excel, данные представлены в форме среднего арифметического значения и его стандартной ошибки ($M \pm m$).

Степень опасности химического загрязнения устанавливали путем сопоставления полученных величин с существующими предельно допустимыми нормами (ПДК, ОДК), а также базовыми уровнями концентраций, рассчитанными для условий Беларуси на основе литературного обзора (табл. 2). Для оценки состояния почв использовали коэффициент аномальности K_a (отношение содержания химического элемента в исследованном образце к данным местного геохимического фона (взяты данные по Минской области).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полоса отвода представляет собой антропогенно измененные почвы, которые на различных этапах строительства дорожного полотна, реконструкции и до эксплуатации приобрели свойства типичных урбоземов, техногенных поверхностных образований, почвогрунта и частично сохранившихся естественных почв приле-

гающих территорий. Накопление тяжелых металлов в почвогрунтах придорожных территорий отражает прямое воздействие движения автотранспорта и разрушающихся компонентов конструкции дорожной инфраструктуры на содержание данных элементов в почвогрунте.

Таблица 2. Общепринятые и усредненные показатели концентрации элементов в почве**Table 2.** Conventional and average concentrations of heavy metals in soil

Показатель	Концентрация, мг/кг					
	Zn	Cu	Pb	Co	Ni	Cd
Options	Concentration, mg/kg					
	Zn	Cu	Pb	Co	Ni	Cd
ПДК [19–21]	100	55	32	12	85	0,5
ОДК (ПДК) [3]	55	33	30	5	20	0,22
Кларк городских почв [22]	158	39	54,5	14,1	33	0,9
Кларк [23]	35	13	12	6	20	0,1
*Среднее по с/х землям [24]	44	20	23	8	22	–
Фон (Беларусь) [3]	13,6	3,5	4,6	–	4,2	0,1
Фон (Минская область) [25]	19,1	2,3	11,2	–	1,6	0,37
Фон (г. Минск) [3]	32,3	3,1	18,5	–	–	1,5

Примечание: выделение цветом соответствует концентрациям, приведенным на рисунках 1–6.

* – для дерново-подзолистых почв (приближено к почвам исследуемой зоны примыкающих агрофитоценозов).

Сектор 1 во всех трех экспозициях характеризуются уплотнением почвогрунта, его разрушением вследствие водной эрозии и перегревом от дорожного покрытия. Почвенный слой представляет собой смесь мелкодисперсного песка с камнями и частицами сохранившегося почвогрунта. Обследованные участки следует разделить на три типа для данного сектора: неуплотненный смыывающийся верхний плодородный горизонт после строительства или реконструкции; участки с явным уплотнением и механическим загрязнением бытовым мусором и строительными материалами, также отмечаются признаки формирования почв; длительно трансформированные урбаноземы с признаками педогенной структуры и развитым растительным покровом.

Сектор 2 экспозиций «выемка» и «нулевое положение» представлены хорошо сформированными антропогенными почвами с высоким содержанием гумуса в понижениях рельефа за счет его смыва со склона насыпи и примыкающих секторов. В структуре верхних и нижележащих горизонтов присутствует щебень, камни, части дорожного покрытия различного размера. Дополнительно верхний слой засоряется бытовым мусором. Отмечается повреждение верхних слоев горизонта за счет механического кошения и смыва песчаной подстилающей конструкции.

В секторе 3 «выемки») и 2 («насыпи») можно выделить следующие типы изменения почв под влиянием склона: первый тип представлен сформированным почвенным покровом, испытывающим незначительное разрушение за счет смыва атмосферными осадками; растительный покров полностью покрывает почвогрунт, единично встречаются механические повреждения. Нижележащий горизонт представлен строительным песком с крупными камнями и остат-

ками строительного мусора. Второй тип – дернина развита слабее, отмечаются обширные участки с отсутствующим плодородным слоем, размывами в нижележащие горизонты, что ведет к развитию псаммофитной и сорно-рудеральной растительности. Третий тип – песчаный слой из привозной или глубоко залегаемой местной породы (вероятно, использовался торф или почвогрунт еще не укладывался), растительность и дернинообразование развиты менее по сравнению с другими типами почв.

Сектор 4 «выемки» и сектора 3 «насыпи» и «нулевого положения» схожи по типу и свойствам примыкающих экосистем. В отличие от лесных фитоценозов нижележащий горизонт частично представлен привносимым при строительстве песком, а вышележащий почвенный покров хорошо сформирован за счет естественных и привозных почвогрунтов, без признаков эрозии. В отличие от сельскохозяйственных районов почвы имеют выраженные отличия между нижним песчаным и верхним гумусовым горизонтами, отсутствуют признаки перемешивания слоев. Помимо химического загрязнения от автодорог, существенен вклад минеральных удобрений, выпадающих от граничащих агрофитоценозов.

Кадмий (Cd). Среднее содержание элемента в почвах находится в пределах 0,07–1,1 мг/кг. При этом фоновые уровни Cd в почвах не превосходят 0,5 мг/кг. Фитотоксичность Cd при поступлении в растения проявляется в снижении интенсивности фотосинтеза, нарушении транспирации и фиксации CO₂, изменении проницаемости клеточных мембран, затруднении симбиоза растений с микробиотой, повышает предрасположенность растений к грибковым заболеваниям.

Концентрации элемента приближены к значениям ОДК (ПДК) (см. табл. 2), а наибольшая загрязненность характерна для экспозиции

«насыпь» (рис. 1А). Несмотря на значения ниже ПДК (0,5 мг/кг), отмечается общая тенденция по снижению загрязненности в зависимости от удаленности от дорожного полотна, почвенные образцы верхних горизонтов обладали большей концентрацией Cd, что подтверждает антропогенный характер загрязнения.

Согласно полученным данным, все образцы превышали кларковые значения и показатели фона для Беларуси (0,1 мг/кг), кроме образца нижележащего горизонта самого отдаленного от дорожного полотна 4 сектора экспозиции «выемка» – $0,07 \pm 0,003$ мг/кг. Также отмечается очевидное повышение концентраций в понижениях полосы отвода (кюветах) в секторах 2 для экспозиций «выемка» и «нулевое положение» по сравнению с другими секторами за счет стока атмосферных осадков. Незначительное повышение концентрации в секторе 4 экспозиции «выемка», вероятно, вызвано преимущественным попаданием фосфатных удобрений с примыкающих к полосе агрофитоценозов (табл. 3, см. рис. 1А).

Кобальт (Co). Среднее содержание кобальта в почвах Беларуси ниже 3 мг/кг [26]. Обогащение почв этим элементом сопровождается увеличением его содержания в растениях. Высокие концентрации Co в почвах приводят к сдвигам в росте растений и их метаболических функциях.

Участки дорог в экспозиции «насыпь» по сравнению с другими оказались наиболее загрязненными, а верхние горизонты превышали значения ОДК (ПДК): показатели 1 сектора были выше в 1,64 раза, 2 сектора – в 1,48 раз и 3 сектора – в 1,15 раз. В экспозициях «выемка» и «нулевое положение» концентрации Co находились ниже значений ОДК (ПДК) (5,0 мг/кг), кларка (6,0 мг/кг) и среднего по с/х землям (8,0 мг/кг) (рис. 1Б, см. табл. 3). Наличие кюветов в «нулевом положении» и «выемке» отражается на повышении концентрации Co в нижних слоях почвогрунтов, что, вероятно, вызвано слабым эффектом накопления и средним захватом элементами почв [27].

Таким образом, концентрация Co во всех проанализированных образцах не превышает ПДК. Содержание данного элемента в почве связано как с природным, так и антропогенным фактором – металл широко используется в конструкции автомобилей, его выбросы во внешнюю среду связаны с работой тормозной системы. Полученные нами данные, подтверждают антропогенное происхождение Co в почвогрунте отвода дорог.

Медь (Cu). Медь относится к числу жизненно важных микроэлементов. В норме содержание Cu в растениях варьирует от 2 до 15 мг/кг сухого вещества. Элемент входит в состав фер-

ментов, белков и аминокислот. При содержании в растении в оптимальных дозах Cu участвует в синтезе жиров и витаминов, способствует повышению морозостойкости растений, положительно влияет на усвоение растениями азота. Концентрация более 20 мг/кг токсична для растительных организмов. Избыток меди ведет к подавлению репродуктивной и ростовой функций, к ослаблению развития растений, у них отмечается изменение окраски корней и хлороз листьев. Особенности поступления и уровень аккумуляции характеризуют Cu как элемент умеренного накопления в почве, избыток его вызывает ослабление «дыхания почв» и процесса азотфиксации у растений [28].

Сохраняется тенденция наибольшей загрязненности экспозиций «насыпь». Высокая концентрация элемента отмечена для верхнего горизонта 1 сектора в «насыпи» – $57,4 \pm 0,22$ мг/кг, что на 4% превышает ПДК и на 74% – ОДК (ПДК). Показатели концентрации для всех остальных экспозиций не превышали значения ОДК и ПДК. Также в «насыпи» отмечается отличительная концентрация всех образцов выше кларкового значения (13,0 мг/кг) по сравнению с другими экспозициями (рис. 1В, см. табл. 3). Коэффициент аномальности (K_a) для первого сектора верхнего горизонта (0–10 см) в «насыпи» показал наибольшее значение по сравнению с другими элементами всех экспозиций – 25,0 (см. табл. 3)

В отличие от Cd и Co, с удалением от дорожного полотна концентрация Cu в почвогрунте стабильно снижается без характерной аккумуляции в кюветах. Исключение составляет нижний горизонт в экспозиции «нулевое положение», что, вероятно, вызвано физико-химическими свойствами меди накапливаться преимущественно в нижних слоях песчаного почвогрунта в условиях смыва осадками (см. рис. 1В).

Никель (Ni) – один из редких элементов. Накопление никеля в почвах во многом определяется его содержанием в материнских породах. Уровень концентрации этого элемента в верхнем слое почв зависит также от почвообразующих процессов (наличия органического вещества, аморфных оксидов, глинистой фракции) и техногенного загрязнения. Концентрация Ni в растениях обычно составляет 0,1–5 мг/кг. Элемент стимулирует рост растений, развитие и прорастание семян, входит в состав нуклеиновых кислот. Токсичен для растений при содержании более 50 мг/кг сухой фитомассы. Избыток Ni является причиной белой специфической пятнистости листьев, вызывает хлороз и некроз листьев, торможение роста корней и побегов.

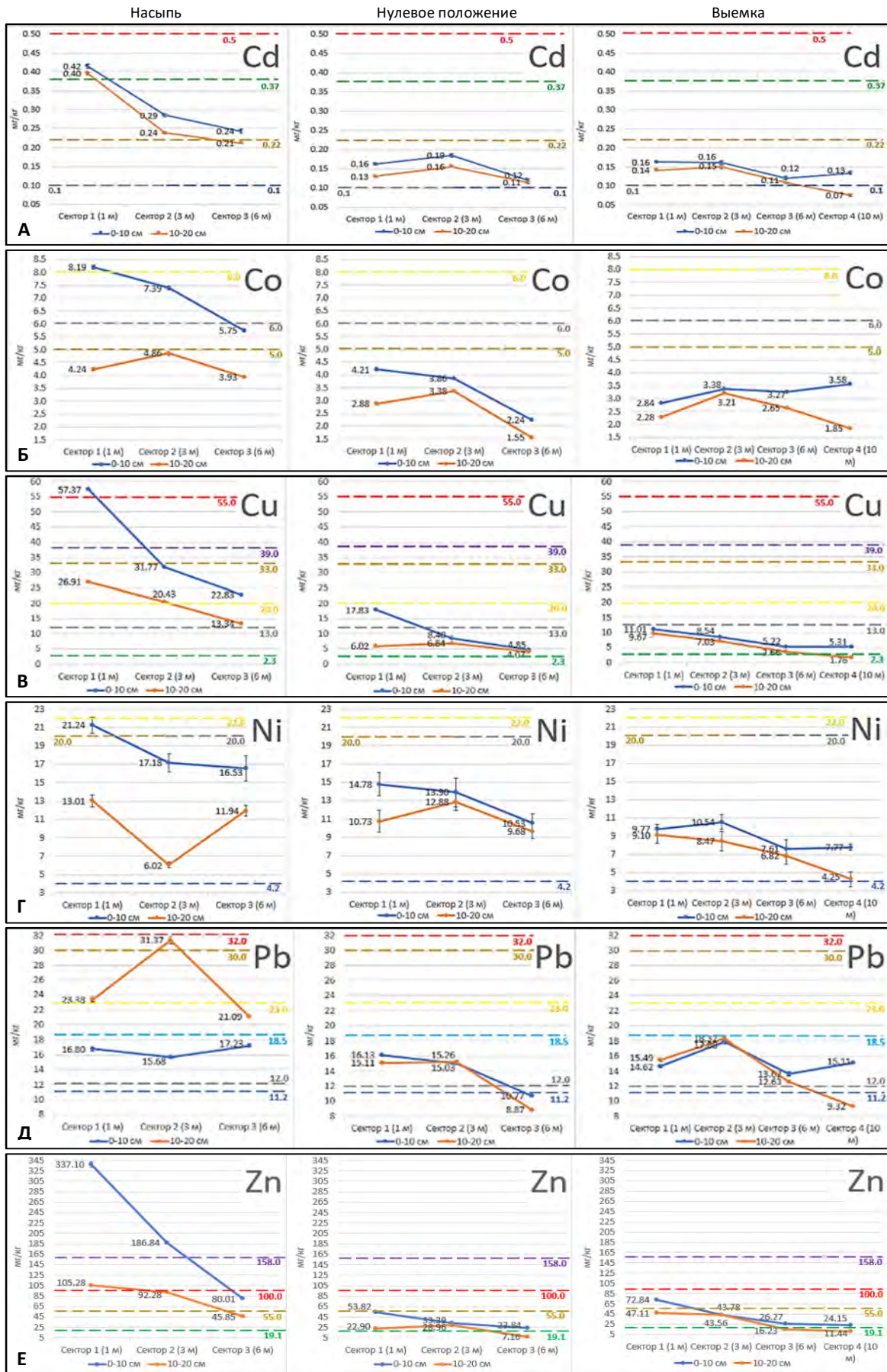


Рис. 1. Концентрация тяжелых металлов в почве по секторам и глубине отбора в различных экспозициях дороги (штриховкой показаны допустимые уровни концентрации в соответствии с табл. 2)

Fig. 1. Cadmium concentration by sector and sampling depth in different road exposures (hatching shows the allowable concentration levels in accordance with the table 2)

Таблица 3. Концентрация тяжелых металлов и коэффициент аномальности (K_a) в почве в границах полосы отвода вдоль автомобильных дорог, мг/кг

Table 3. Heavy metals concentration and anomaly coefficient in the right-of-way soil along highways, mg/kg

Элемент (глубина отбора)	Экспозиция									
	«насыпь»			«нулевое положение»			«выемка»			
	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 1 (1 м)	Сектор 2 (3 м)	Сектор 3 (6 м)	Сектор 4 (10 м)
Element (sampling depth)	Exposition «embankment»			Exposition «zero position»			Exposition «notch»			
	Sector 1 (1 m)	Sector 2 (3 m)	Sector 3 (6 m)	Sector 1 (1 m)	Sector 2 (3 m)	Sector 3 (6 m)	Sector 1 (1 m)	Sector 2 (3 m)	Sector 3 (6 m)	Sector 4 (10 m)
Cd (0–10 см)	0,40±0,010	0,29±0,004	0,24±0,010	0,16±0,003	0,19±0,005	0,12±0,002	0,16±0,003	0,16±0,010	0,12±0,004	0,13±0,003
Cd (10–20 см)	0,42±0,003	0,24±0,003	0,21±0,002	0,13±0,002	0,16±0,002	0,11±0,003	0,14±0,002	0,15±0,004	0,11±0,002	0,07±0,003
Co (0–10 см)	8,2±0,07	7,4±0,07	5,8±0,06	4,2±0,04	3,9±0,03	2,2±0,02	2,8±0,03	3,4±0,03	3,3±0,05	3,6±0,03
Co (10–20 см)	4,2±0,06	4,9±0,06	3,9±0,04	2,9±0,05	3,4±0,05	1,6±0,02	2,3±0,02	3,2±0,02	2,7±0,02	1,9±0,02
Cu (0–10 см)	57,4±0,22	31,8±0,12	22,8±0,15	17,8±0,07	8,4±0,12	4,9±0,05	11,0±0,04	8,5±0,08	5,2±0,08	5,3±0,05
Cu (10–20 см)	26,9±0,17	20,4±0,21	13,3±0,10	6,0±0,06	6,8±0,08	4,1±0,11	9,7±0,05	7,0±0,11	3,7±0,04	1,8±0,03
Ni (0–10 см)	21,2±0,86	17,2±0,98	16,5±1,38	14,8±1,27	13,9±1,57	10,5±0,98	9,8±0,55	10,5±0,81	7,6±0,95	7,8±0,33
Ni (10–20 см)	13,0±0,65	6,0±0,65	11,9±0,53	10,7±1,21	12,9±0,97	9,7±0,78	9,1±0,91	8,5±1,07	6,8±0,89	4,3±0,84
Pb (0–10 см)	16,8±0,21	15,7±0,18	17,2±0,22	16,1±0,17	15,0±0,14	10,8±0,11	14,6±0,10	17,9±0,23	13,6±0,25	15,1±0,10
Pb (10–20 см)	23,4±0,37	31,4±0,49	21,1±0,14	15,1±0,18	15,3±0,24	8,9±0,11	15,5±0,21	18,3±0,27	12,6±0,14	9,3±0,10
Zn (0–10 см)	337,1±5,18	18,83±2,73	80,0±1,03	53,8±0,62	33,4±0,33	23,8±0,15	72,8±0,58	43,8±0,32	26,3±0,30	24,2±0,07
Zn (10–20 см)	105,3±1,64	92,3±1,41	45,9±0,33	22,9±0,15	28,9±0,13	7,2±0,11	47,1±0,49	43,6±0,22	16,2±0,10	11,4±0,05
K_a для Cd _{0–10 см}	1,1	0,8	0,6	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4
K_a для Cd _{10–20 см}	1,1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
K_a для Co _{0–10 см}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K_a для Co _{10–20 см}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
K_a для Cu _{0–10 см}	25,0	13,8	9,9	7,7	3,7	2,1	4,8	3,7	2,3	2,3
K_a для Cu _{10–20 см}	11,7	8,9	5,8	2,6	3,0	1,8	4,2	3,0	1,6	0,8
K_a для Ni _{0–10 см}	13,3	10,8	10,3	9,3	8,7	6,6	6,1	6,6	4,8	4,9
K_a для Ni _{10–20 см}	8,1	3,8	7,4	6,7	8,1	6,1	5,7	5,3	4,3	2,7
K_a для Pb _{0–10 см}	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,0	1,3	1,6	1,2	1,3
K_a для Pb _{10–20 см}	2,1	2,8	1,9	1,3	1,4	0,8	1,4	1,6	1,1	0,8
K_a для Zn _{0–10 см}	17,6	1,0	4,2	2,8	1,7	1,2	3,8	2,3	1,4	1,3
K_a для Zn _{10–20 см}	5,5	4,8	2,4	1,2	1,5	0,4	2,5	2,3	0,8	0,6

Результаты исследования показали, что наибольшая загрязненность Ni отмечается в «насыпи», где только верхний горизонт 1 сектора ($21,2 \pm 0,86$ мг/кг) незначительно (на 6%) превышает значения ОДК (ПДК), показатели же остальных секторов верхнего горизонта значительно выше, чем в других экспозициях (рис. 1Г, см. табл. 3). Вероятно, это связано с физико-химическими свойствами элемента, обуславливающими его слабую способность связывания с элементами верхнего горизонта, содержание органики в котором значительно выше, чем в нижнем минеральном, что косвенно подтверждается достаточно выраженным смывом Ni на склонах в «выемке» и «насыпи» и накоплением в кюветках в «нулевом положении» и «выемке».

В целом, концентрация Ni характеризуется одной из самых низких величин по сравнению с другими тяжелыми металлами. Его техногенный эффект (присутствие в выхлопных газах) подтверждается постепенным снижением концентрации в почве с удалением от дорожного полотна. Коэффициент аномальности (K_a) показывает противоположные значения при сравнении с фоном Минской области – одни из высоких значений загрязненности почв (13,3) (см. табл. 3).

Свинец (Pb). Естественное содержание свинца в почвах наследуется от материнских пород. Однако из-за широкомасштабного загрязнения среды Pb большинство почв обогащено этим элементом. Наибольшие его концентрации обнаруживаются в верхнем слое необрабатываемых почв. Это имеет огромное экологическое значение, так как свинец среди тяжелых металлов наименее подвижен и загрязнение им почв носит в основном необратимый характер. В норме содержание свинца в фитомассе составляет 0,1–5 мг/кг. Накопление Pb происходит преимущественно в корневых системах растений. Фитотоксичность элемента проявляется в ингибировании процессов дыхания и фотосинтеза, митоза, поглощения воды. Основные источники поступления – тетраэтилсвинец в выбросах автотранспорта, а также побочные продукты горнодобывающих и химических предприятий.

При анализе содержания свинца в почвенных образцах по сравнению с другими тяжелыми металлами прослеживается обратная связь – большая загрязненность свинцом, в отличие от других элементов, установлена в нижележащих горизонтах. Вероятно, накопление свинца в нижнем горизонте происходит за счет ранее используемого в автомобильном топливе этилированного бензина, чьи остаточные продукты за долгий промежуток времени мигрировали в

нижний (песчаный) горизонт полосы отвода. Также вероятной причиной наблюдаемого явления является способность Pb связываться преимущественно с компонентами искусственного песчаного субстрата (рис. 1Д, см. табл. 3), где исключение составили сектор 3 «нулевого положения» и сектор 4 «выемки» по причине примыкания их к агрофитоценозам, для культивирования которых использовались фосфатные удобрения, содержащие Pb.

Среди всех образцов почвогрунта только нижний горизонт 2-го сектора (песчаный склон) ($31,4 \pm 0,49$ мг/кг) «насыпи» превышал значения ОДК (ПДК) на 5% и находился в пределах ПДК не переходя порог концентрации (см. рис. 1Д). Все значения кроме нижнего горизонта «насыпи» не превышали средний фон г. Минска (18,5 мг/кг).

Цинк (Zn) – один из важнейших элементов питания растений, довольно широко распространен. Его количество в фитомассе – 15–100 мг/кг сухого вещества. Состав коренных и почвообразующих пород является главным условием, обуславливающим уровень содержания Zn в почвах. Важнейшими факторами, контролирующими поведение этого элемента в почвах, являются наличие глинистых минералов, водных оксидов железа, органического вещества и уровень рН. Цинк наиболее подвижен и биологически доступен в кислых легких минеральных почвах. При концентрации более 300 мг/кг цинк токсичен для растительных организмов. Основным источником цинка в наземных экосистемах – техногенные выбросы, а в условиях автодорог – транспортные средства.

Загрязненность «насыпи» Zn самая высокая по сравнению с другими тяжелыми металлами и экспозициями: самые высокие концентрации отмечены в верхнем ($337,1 \pm 5,18$ мг/кг) и нижнем ($105,3 \pm 1,64$ мг/кг) горизонтах 1-го сектора, что, соответственно, в 3,37 раза и на 5% выше ПДК; по отношению к ОДК (ПДК) из других источников больше в 6,13 раз (верхний горизонт) и в 1,91 раза (нижний горизонт). Верхний горизонт 2-го сектора «насыпи» ($186,8 \pm 2,73$ мг/кг) выше ПДК в 1,87 раз и ОДК (ПДК) – в 3,40 раз. Нижний горизонт 2-го сектора ($92,3 \pm 1,41$ мг/кг) и верхний горизонт 3-го сектора ($80,0 \pm 1,03$ мг/кг) были выше ОДК (ПДК) в 1,68 раз и 1,46 раз соответственно (рис. 1Е, см. табл. 3). Анализ экспозиции «выемка» и «нулевое положение» показал, что только верхний горизонт 1-го сектора «нулевого положения» ($72,8 \pm 0,58$ мг/кг) превышал значения ОДК (ПДК) в 1,32 раза (см. рис. 1Е). Коэффициент аномальности (K_a) верхнего горизонта (0–10 см)

1-го сектора «насыпи», как самого загрязненного среди всех проанализированных полос отвода, составляет 17,6 для Zn, что уступает значению только по Cu – 25,0 (см. табл. 3).

Общая оценка загрязненности почв полосы отвода проводилась с помощью балльной системы – вычисляется превышение концентрации элементов в экспозициях пролегания автодорог относительно общепринятым величинам ПДК и ОДК. В норме балл должен находиться в пределах единицы. Используемый показатель имеет относительный, нечеткий характер определения загрязненности территории, поскольку в нем не учитываются степень опасности загрязнителя и геохимические свойства почвогрунтов. Однако балл показывает определенное представление о степени превышения концентрации элемента в природе и согласно допустимым концентрациям.

Таким образом, согласно полученным результатам, концентрация элементов по ПДК во всех экспозициях дороги и на различной глубине отбора почв находится в пределах нормальных значений, а на некоторых участках – ниже нормы ПДК. Исключение составляет Zn, чьи показатели в верхнем слое (0–10 см) в 3,4 раза выше ПДК (рис. 2А).

При сопоставлении с показателями ОДК отмечаются более высокие баллы: очевидны отклонения от нормы для Cd на 1,8 балла (0–10 см) и 1,9 балла (10–20 см) в «насыпи». Показатели Co и Cu выше нормальных значений только в верхнем слое (0–10 см) экспозиции «насыпь» – 1,6 и 1,7 балла соответственно. Zn показывает наибольшие отклонения: так, в «насыпи» на 6,1 балла (0–10 см) и на 1,9 балла (10–20 см). Также незначительное повышение по Zn отмечено на глубине 0–10 см в «выемке» – на 1,3 балла (рис. 2Б).

Анализ средней оценки загрязненности почв комплексом металлов (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) подтверждает более высокое накопление элементов в почве «насыпи», чем в других экспозициях, а также в первых секторах всех экспозиций. Средний балл для «насыпи» находился в пределах 0,5–1,1 (0–10 см, ПДК), 0,4–0,6 (10–20 см, ПДК), 5,3–11,7 (0–10 см, Минская область) и 3,6–5,7 (10–20 см, Минская область). Средний балл тяжелых металлов в экспозиции «выемка» и «нулевое положение» ниже и более постоянен в зависимости от удаления от дорожного полотна – находился в пределах 0,2–0,4 (все горизонты, ПДК), 2,0–4,3 (0–10 см, Минская область) и 1,0–2,9 (10–20 см, Минская область) (рис. 3).

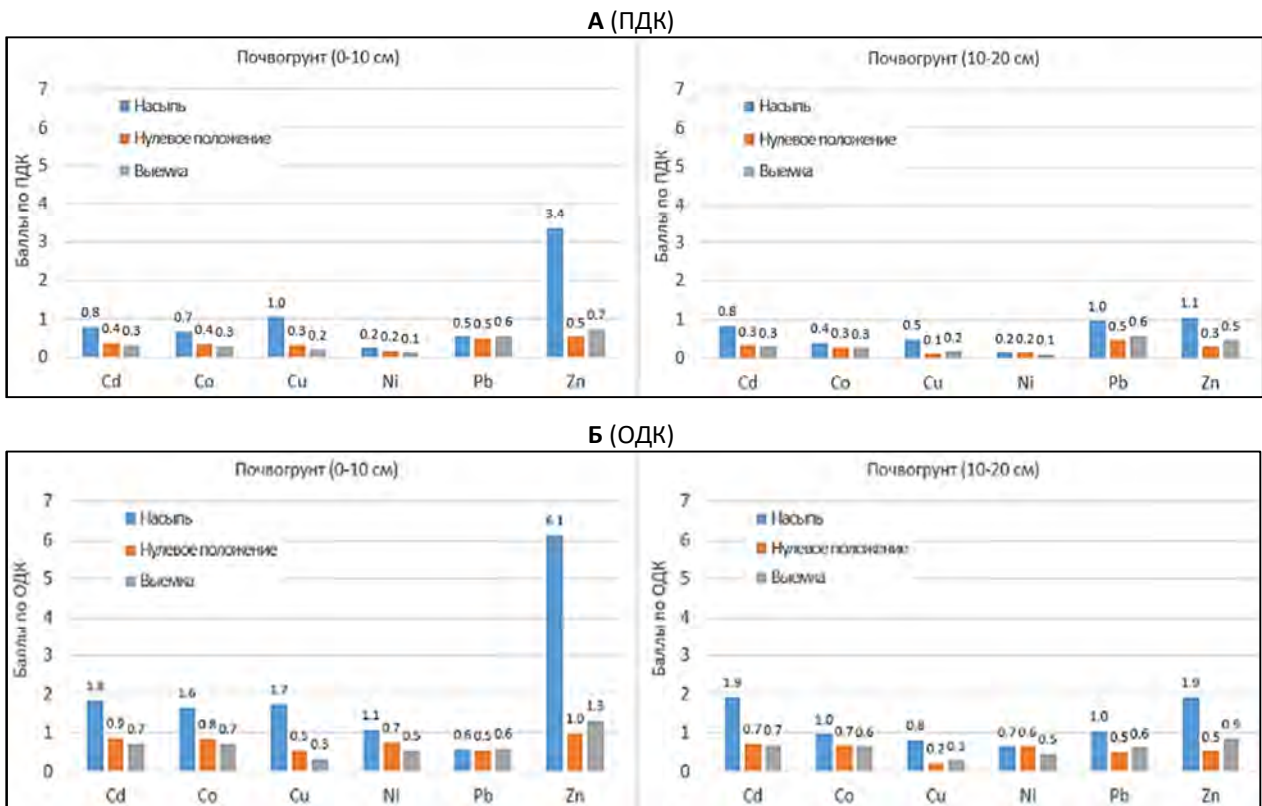


Рис. 2. Превышение (в баллах) максимальных концентраций элементов в почве относительно ПДК (А) и ОДК (Б) в различных экспозициях полосы отвода

Fig. 2. Exceeding deviations from the maximum concentrations of elements relative to MAC (A) and RAC (Б) in various exposures of the right-of-way

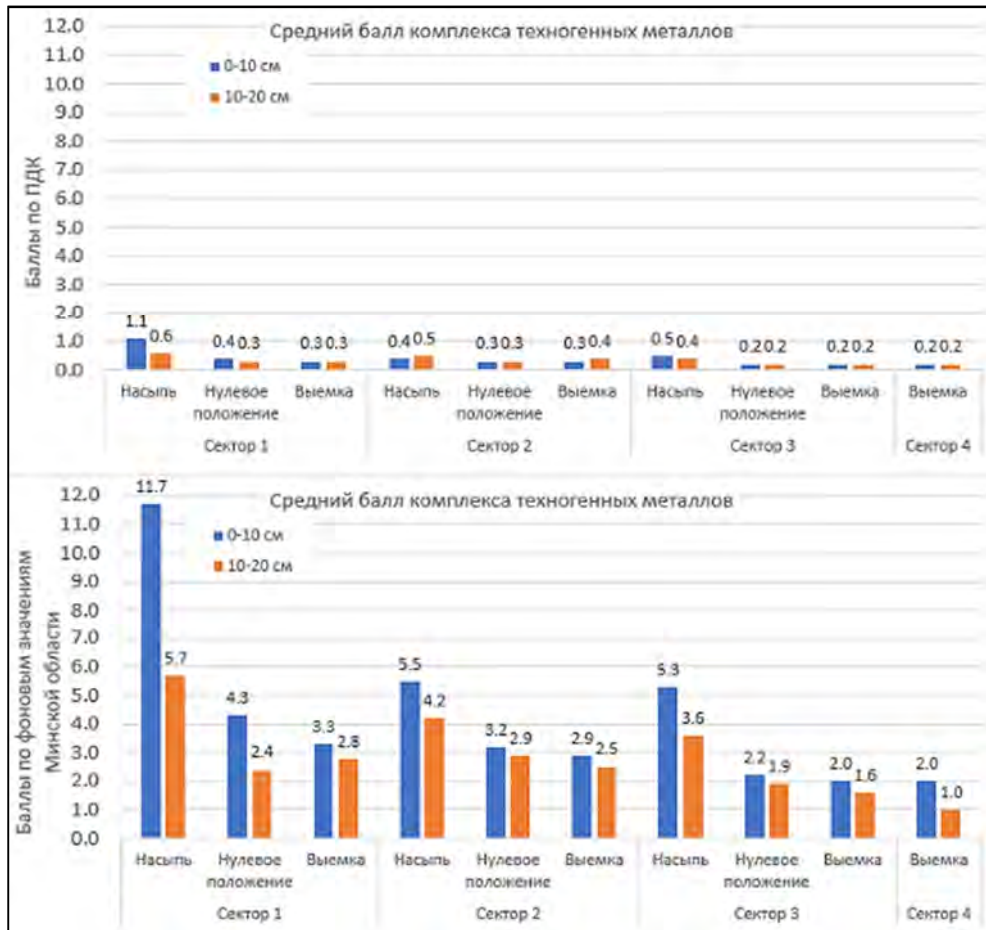


Рис. 3. Среднее превышение максимальных концентраций комплекса элементов в почве относительно ПДК и фоновых значений Минской области в различных экспозициях полосы отвода

Fig. 3. Average excess deviations from the maximum concentrations of a complex of elements relative to MAC and background values of the Minsk region in various exposures of the right-of-way

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные свидетельствуют о высокой степени загрязнения тяжелыми металлами верхних (0–10 см) горизонтов почвогрунтов, что указывает на прямой антропогенный вклад в содержание элементов в почвах полосы отвода. Исключение составляет Pb, концентрация которого преимущественно выше в нижележащих горизонтах (10–20 см). Высокие концентрации элементов были отмечены на непосредственно примыкающих к дорожному полотну участках и, в случае Cd, Co, Ni и Pb, минимальные повышения в водоотводящих элементах экспозиций «выемка» и «нулевое положение». Самыми загрязненными оказались участки дорог в «насыпи»: наибольшие концентрации относительно ПДК и ОДК характерны для Cd, Co и Cu – выше на 91%, 64% и 8% (74% для ОДК Cu) соответственно (насыпь, верхний горизонт первого сектора). Показатели Ni минимально превышали ОДК (ПДК) в 1,06 раза в верхних горизон-

тах примыкающих к дороге участках «насыпи». Небольшую загрязненность по Pb показал нижний горизонт склона искусственной «насыпи» – на 5% выше относительно ОДК (ПДК). Zn показал высокую аккумуляцию по сравнению с другими элементами: превышение ОДК (ПДК) отмечено для «выемки» – в 1,32 раза и для «насыпи» – в 6,13 раз для ОДК и в 3,37 раза для ПДК. Превышение допустимых концентраций для Cd и Zn отмечается и в других секторах «насыпи». При сравнении с фоновыми значениями Минской области, коэффициент аномальности показал высокую загрязненность полосы отвода Cu, Ni и Zn. Таким образом, полоса отвода представляет собой антропогенно измененную среду, способную оказывать негативное воздействие на состояние располагающихся вдоль полос отвода растительных сообществ, а одним из факторов ее формирования является загрязненность почвогрунта тяжелыми металлами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Судник, А. В. Последствия воздействия загрязнения придорожных территорий компонентами солевых реагентов на экологическое состояние почвы и растений в лесных биогеоценозах / А.В. Судник, И.П. Вознячук // Лесной вестник. – 2020. – Т. 24 (6). – С. 83–95.
2. Судник, А. В. Основные подходы к созданию и особенности содержания придорожных насаждений в Беларуси / А. В. Судник, А. П. Яковлев // Автомобильные дороги и мосты. – 2022. – №2 (30). – С. 29–36.
3. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2014 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2015. – 347 с.
4. Судник, А. В. Оценка степени загрязнения придорожных экосистем комплексом техногенных металлов и хлоридов / А. В. Судник, И. П. Вознячук / Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету / Матэрыялы V Міжнароднай навуковай канферэнцыі. Мінск – Белаавежская пушча, 8–12 кастрычніка 2018 г. – Минск: «Колорград», 2018. – С.186–188.
5. Бурова, О. В. Особенности воздействия противогололедных материалов на почвы придорожных территорий / О. В. Бурова [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. Науч.-техн. журнал, № 1, 2008. – С. 49–52.
6. Завьялов, С.В. Проблемы и пути решения охраны окружающей среды в дорожно-транспортном комплексе Республики Беларусь / С. В. Завьялов. – Минск, 2003.
7. Официальная статистика Национального статистического комитета Республики Беларусь: А1. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/a-zagryaznenie-atmosfernogo-vozduha-i-razrushenie-ozonovogo-sloya/a-1-vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosfernyi-vozduh/index.php>. – Дата доступа: 25.01.2023.
8. Качалова, О. Л. Воздействие выбросов автотранспорта на природную среду / О.Л. Качалова. – Рига: Зинатне, 1989. – 104 с.
9. Сибгатуллина, М. Ш. Металлы в травянистых растениях с разными типами адаптивных стратегий / М. Ш. Сибгатуллина, Г. Р. Валеева // Юг России: экология, развитие. – 2013. – № 1. – С. 72–81.
10. Carpenter, P. E. Roadside Manual / P. E. Carpenter. – Washington State Department of Transportation, 2017. – 286 p.
11. Маврин, Г. В. Исследование влияния автотранспорта на состояние растительности придорожной полосы / Г. В. Маврин, И. Я. Сиппель, А. И. Мансурова // Международный научно-исследовательский журнал. Биологические науки. – 2015. – № 34 (4). – С. 15–17.
12. Трахтенберг, И. М. Тяжелые металлы во внешней среде / И. М. Трахтенберг, В. С. Колесников, В. Г. Луковенко – Мн.: Навука і тэхніка, 1994. – 288 с.
13. ГОСТ 17.4.4.022017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 12 с.
14. Классификация почв России. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1997. – 235 с.
15. Полевой определитель почв. – М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. – 182 с.
16. Герасимова, М. И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М.И. Герасимова [и др.]; под ред. Г. В. Добровольского. – М.: Ойкумена, 2003. – 270 с.
17. Chajduk, E. Determination of uranium and selected elements in Polish dictyonema shales and sandstones by ICP-MS / E. Chajduk [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2013. – V. 295. – P. 1913–1919.
18. Thompson, M. Handbook of Inductively Coupled Plasma Spectrometry / M. Thompson, J.N. Walsh. – Glasgow: Blackie, 1983. – 316 p.
19. Головатый, С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах / С. Е. Головатый. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2002. – 239 с.
20. ТКП 17.03-06-2019 (33140) «Порядок выполнения работ по дифференцированному нормированию содержания химических веществ в землях (включая почвы)». – Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2019. – 21 с.
21. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 25 января 2021 г. № 37 «Об утверждении гигиенических нормативов». – 2021. – 1255 с.
22. Алексеевко, В. А., Алексеевко, А. В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитренных ландшафтов. – Ростов н/Д.: Изд-во Южного Федерал. Ун-та, 2013. – 388 с.
23. Петухова, Н.Н. К кларкам микроэлементов в почвенном покрове Беларуси / Н. Н. Петухова, В. А. Кузнецов // Доклады АН Беларуси. – 1992. – № 26 (5). – С. 461–465.
24. Толкач, Г. В. Накопление некоторых химических элементов растительностью фитоценозов Брестского района в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова / Г. В. Толкач, С. С. Позняк // Экологический вестник – 2015. – Т. 3 (33). – С. 79–88.
25. Красочко, И. А. Загрязненность тяжелыми металлами почв Республики Беларусь / И. А. Красочко, О. В. Нарбутович, В. А. Машеро // Экология и животный мир. – 2008. – №1. – С. 23–31.
26. Петухова, Н. Н. Геохимия почв Белорусской ССР / Н.Н. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1987. – 231 с.
27. Перельман, А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман. – Москва: Высшая школа, 1975. – 341 с.
28. Рудь, А. В. Загрязнение тяжелыми металлами почв и растительности придорожных полос автодорог Минской области / А. В. Рудь // Веснік БДУ. Хімія. Біялогія. Геаграфія. – 2007. – Сер. 2, № 1. – С. 111–115.

Поступила в редакцию 03.05.2023 г.

МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ MYCOLOGY AND PHYTOPATHOLOGY

УДК 632.3/.7:004.94

В. Б. ЗВЯГИНЦЕВ¹, Д. Б. БЕЛОМЕСЯЦЕВА², А. Г. ПИНЧУК¹,
А. Д. ТЕЛЕШ¹, Е. Р. ВОЛОШИНА³

МОДЕЛИРОВАНИЕ АРЕАЛОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРАНТИННЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ПРИМЕРЕ ООМИЦЕТА *PHYTOPHTHORA ALNI* BRASIER ET S.A. KIRK

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, e-mail: zviagintsev@belstu.by

²Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: dasha_belom@yahoo.com

³Национальный парк «Браславские озера», Браслав, Беларусь, e-mail: voloshinaer@tut.by

Аннотация. С использованием программного пакета Maxent на примере карантинного для стран Евразийского экономического союза фитопатогенного оомицета *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk показана возможность компьютерного моделирования развития вторичных ареалов вредоносных организмов в настоящее время и будущем при различных сценариях изменения климата. Пространственно-климатическое моделирование показало пригодность условий Беларуси для развития *P. alni*, что дало основание для проведения локальных лесопатологических обследований и выявления симптомов фитофтороза ольхи в различных лесорастительных условиях страны. Наиболее высокая распространенность и вредность фитофтороза в настоящее время проявляется на севере республики, что требует незамедлительного проведения мониторинга, анализа фитосанитарных рисков и принятия карантинных мер.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, карантинный организм, прогнозирование, вторичный ареал, Maxent, *Phytophthora alni*.

V. B. ZVIAGINTSEV¹, D. B. BELOMETSACHEVA², A.G. PINCHUK¹,
A. D. TELESH¹, E. R. VOLOSHINA³

MODELING THE QUARANTINE PESTS DISTRIBUTION AREAS (CASE STUDY – OOMYCETE *PHYTOPHTHORA ALNI* BRASIER ET S.A. KIRK)

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, e-mail: zviagintsev@belstu.by

²Institute of Experimental Botany V.F. Kuprevich of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: dasha_belom@yahoo.com

³State Environmental Institution "National Park "Braslav Lakes", Braslav, Belarus, e-mail: voloshinaer@tut.by

Annotation. Using the Maxent software package, on the example of the phytopathogenic oomycete *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk, quarantined for the countries of the Eurasian Economic Union. shows the possibility of computer simulation of the development of secondary habitats of harmful organisms at the present time and in the future, under various scenarios of climate change. Spatial and climatic modeling showed the suitability of the conditions of Belarus for the development of *P. alni*, which made it possible to conduct local monitoring and identify symptoms of alder late blight in various forest conditions of the country. The highest prevalence and harmfulness of late blight is currently manifested in the north of the republic, which requires an immediate analysis of phytosanitary risks and the adoption of quarantine measures.

Keywords: computer modeling, quarantine organism, forecasting, secondary range, Maxent, *Phytophthora alni*.

ВВЕДЕНИЕ

Учитывая огромную потенциальную вредоносность, которую несут в себе чужеродные патогенные организмы на новых территориях и в других для себя экосистемах, ученые и практики в различных отраслях биологии, сельского хозяйства, лесоводства, медицины хотели бы иметь представления о вероятности проникновения и развития конкретных инвайдеров в определенных странах или регионах.

Основополагающую роль в формировании и изменениях ареалов обитания живых организмов играет климат [1, 2]. Известно, что в настоящее время происходят беспрецедентно быстрые глобальные климатические изменения, несущие существенные риски для различных отраслей экономики и природных экосистем [3, 4]. Подробная и достоверная информация о географическом распространении видов в изменяющихся климатических условиях имеет большое значение для различных эколого-охранных, карантинных, защитных и других мероприятий [5].

В последнее время всё большую популярность при проведении экологических исследований набирает компьютерное моделирование географического распространения биологических видов методом максимальной энтропии на базе программного пакета Maxent [6, 7]. В базе данных Google Scholar за последние 10 лет количество ежегодно публикуемых научных статей, основанных на использовании Maxent для прогнозирования потенциальных ареалов видов в условиях изменения климата, возросло почти в 3 раза.

Большинство исследований показывают, что по сравнению с другими нишевыми моделями, модель Maxent не только обладает хорошим прогностическим эффектом и стабильностью, но также обладает преимуществами простой и быстрой работы и небольшим спросом на выборку [8]. Алгоритмы программы позволяют строить модель прогнозирования на основе фактических точек распространения и переменных окружающей среды области распространения, хранящихся в ГИС, и моделирует потенциальное распространение видов в пространстве. Результатом является тематическая карта, от-

ражающая пригодность территорий для распространения видов. Кроме того, Maxent помогает адаптировать переменные окружающей среды, такие как земной покров, климатические и географические факторы и оценить вклад каждой переменной [9, 10].

Целью данной работы являлась оценка прогностической ценности модели Maxent для мониторинга опасных карантинных организмов в лесном фонде при различных сценариях изменения климата. В качестве модельного объекта был выбран фитопатогенный оомицет *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk, внесенный в Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза (в ред. от 25.01.2023) как вредный организм, отсутствующий на территории Евразийского экономического союза. Этот патоген впервые был обнаружен в 1993 г. на территории Великобритании и к настоящему времени распространился в странах континентальной Европы: Австрии, Бельгии, Венгрии, Германии, Ирландии, Италии, Испании, Литве, Нидерландах, Польше, Португалии, Словакии, Чехии, Швеции, Франции и в Калининградской обл. России [11–14]. В некоторых регионах фитотрофоз приносит ощутимые потери, вызывая ослабление и усыхание отдельных деревьев и насаждений ольхи. Наиболее поражаемыми видами являются *Alnus cordata*, *A. glutinosa*, *A. incana*, *A. viridis*. Известно, что болезнь быстро распространяется вдоль пойм рек, очевидно, при помощи водотоков.

В Беларуси первое единичное растение с симптомами болезни было выявлено ещё в 2014 г. на территории Терюхского лесничества Гомельского лесхоза [15]. Методами молекулярно-генетической диагностики было подтверждено наличие карантинного патогена, однако с тех пор симптомы болезни на территории Беларуси больше не диагностировались. Выдвинута рабочая гипотеза, что экологические условия страны оказались неблагоприятными для развития *P. alni*, и фитопатоген не смог пройти этап акклиматизации и распространиться из места предполагаемого единичного заноса.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Модель потенциального распространения карантинного вредоносного организма *P. alni* и оценка вероятности его распространения на территории Республики Беларусь строилась на основании данных о современном ареале инвайдера, полученных из авторитетных международных баз: Глобальной информационной

системы о биоразнообразии (GBIF) и Европейско-средиземноморской организации по защите растений (EPPO) [16, 17].

Для анализа были использованы климатические факторы, а также данные о рельефе и растительном покрове региона [18]. Растровые файлы для 19 биоклиматических переменных и

высоты над уровнем моря с разрешением 2,5 минут были загружены из Всемирной базы климатических данных Global Climate Data [19].

Предсказательная ценность модели была проверена путем выборочного лесопатологического обследования ольховых насаждений в различных геоботанических условиях страны на территории национального парка «Браславские озера», Негорельского учебно-опытного, Осиповичского опытного и Столинского лесхозов. Диагностика фитотфороза ольхи проводилась по комплексу симптомов и признаков, описанных на ольхе только при развитии *P. alni* [13].

Для оценки потенциального распространения исследуемого вида под влиянием климатических изменений была использована модель, созданная совместно с японским исследовательским сообществом, известная как модель междисциплинарных исследований климата (MIROC6) с разрешением 2,5 минут или ~5 км на пиксель, которая часто используется для решения широкого спектра вопросов науки о климате и прогнозах будущего климата. Система прогнозирования MIROC6 является вкладом в этап 6 проекта CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project, Version 6).

При моделировании использованы два крайних климатических сценария согласно 6-му докладу Межправительственной комиссии по изменению климата: SSP 585 – вариант, предусматривающий в будущем наибольшую концентрацию диоксида углерода, SSP 126 – вариант, предусматривающий в будущем наименьшую концентрацию диоксида углерода [20].

При проведении анализа в программе Maxent заданы следующие настройки: для статистического анализа точности полученные модели проверены случайной выборкой 25% местонахождений видов, для получения оптимальной модели использованы 500 шагов (итераций), экспериментальным способом на основе анализа разных моделей выбран параметр сложности (regularization multiplier) равный 1, максимальное количество фоновых точек (Max number of background points) – 15000, случайные подвыборки выделены на основе кроссвалидации.

При заданном условии 25% программа «Random test percentage» случайным образом отбирает 25% находок для тестирования. Это позволяет произвести статистический анализ точности с использованием общепринятых методик [21]. Данные анализа представлены на рис. 1.

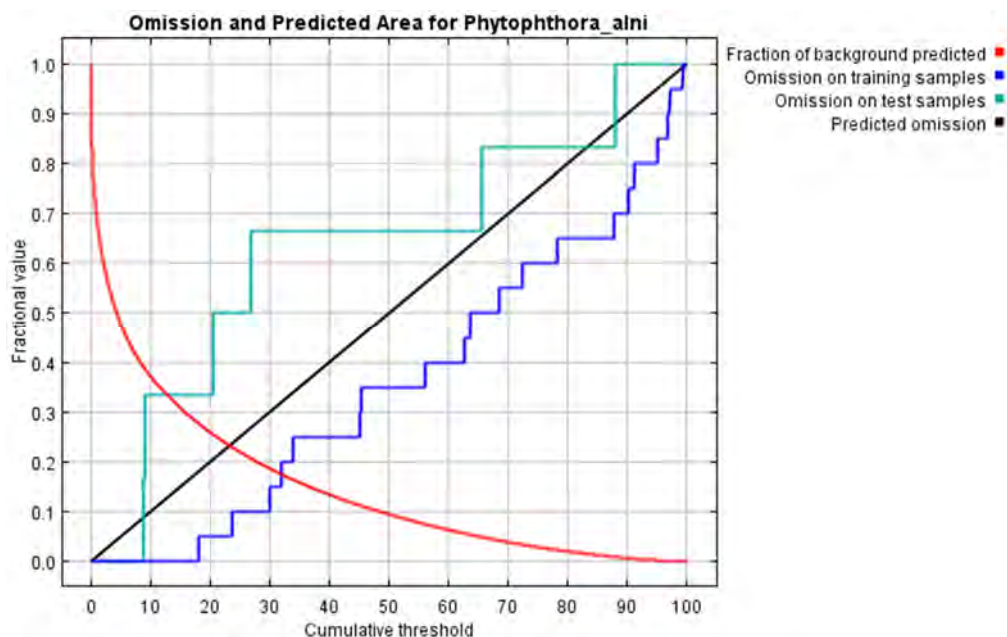


Рис. 1. Примеры визуализации результатов статистического анализа точности моделирования распространения *Phytophthora alni* по тренировочным и случайным (тестовым) точкам

Fig. 1. Examples of visualization of the results of statistical analysis of the accuracy of modeling the distribution of *Phytophthora alni* in training and random (test) points

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первым этапом настройки модели распространения *P. alni* являлся корреляционный анализ 19 биоклиматических переменных, который был

выполнен с использованием QGIS и MS Excel для устранения многомерной коллинеарности. Для анализа были отобраны биоклиматические

переменные, показавшие в расчетах Maxent коэффициент вклада больше нуля. Наиболее значимые переменные среды были использованы для дальнейшего моделирования (табл. 1).

Омиссия по тестовым точкам (голубая кривая) приближается к предсказанной динамике омиссии, рассчитанной для тестовых данных (черная прямая), полученных из самого распределения Maxent.

Вторым видом проверки достоверности построенной модели является значение AUC (Area Under the Receiver Operating Characteristic – площадь под рабочей характеристикой приемника). Показатель AUC идеальной модели равен 1, однако с поправкой на presence only data, показатель AUC хорошей модели стремится к 1 [22].

Критерии оценки точности моделирования модели были разделены на три уровня: плохой ($AUC \leq 0,50$), приемлемый ($0,5 < AUC \leq 0,80$) и отличный ($0,80 < AUC \leq 1,00$) [23].

Красная кривая показывает, насколько хорошо модель описывает тренировочные данные. Синяя линия показывает, насколько хорошо модель описывает тестовые данные и является реальным тестом предсказательной способности модели. Черная линия показывает ситуацию, которую можно было бы ожидать, если бы надежность предсказаний модели была на случайном уровне. Если бы синяя или красная линии находились ниже черной, это означало бы, что уровень достоверных предсказаний модели даже ниже, чем случайный. Чем ближе к верхнему левому углу находится синяя линия, как в нашем случае, тем лучше модель предсказывает находки, содержащиеся в тестовой выборке [21].

Значения Training data AUC = 0,921, Test data AUC = 0,784, для модели *P. alni* указывают на достаточно высокий уровень прогностической эффективности. Кривая рабочих характеристик приемника изображена на рис. 2.

Важность экологических переменных, ограничивающих распространение *P. alni*, оценивалась с использованием jackknife-теста. При этом приеме каждая переменная по очереди исключается и создается модель без нее (зеленая графа); затем модель создается только с этой переменной (синяя графа); дополнительно создается модель со всеми переменными вместе (красная графа). Результаты jackknife-теста представлены на рис. 3. Результаты показывают, что такие предикторы как BIO7 (годовой диапазон температуры), cover (растительные зоны), BIO14 (осадки самого засушливого месяца) и BIO16 (осадки самого влажного квартала) внесли наибольший вклад в модель распространения *P. alni* по сравнению с другими переменными. В зависимости от величины рассматриваемой территории показатели могут измениться.

На примере видно, что если Maxent использует только BIO8 (средняя температура самого влажного квартала), то прироста почти нет, так что сама по себе эта переменная бесполезна для моделирования распространения *P. alni*. С другой стороны, BIO7 (годовой диапазон температуры) достаточно хорошо описывает данные.

Настройки модели, основанной на известных точках находок патогена в Европе, позволили получить карту возможного распространения *P. alni*, раскрашенную по оптимальности условий среды для развития вида (рис. 4). В используемой шкале красный цвет соответствует наиболее благоприятным условиям, а синий – неблагоприятным, где вероятность развития данного вида стремится к нулю.

Пространственное моделирование ареала *P. alni* показывает пригодность условий Беларуси для развития вредного организма с коэффициентами вероятности от 0,22 до 0,78.

Таблица 1. Экологические переменные, показавшие наибольшую значимость для распространения *Phytophthora alni* в расчетах Maxent

Table 1. Ecological variables that showed the greatest significance for the distribution of *Phytophthora alni* in the Maxent calculations

Переменная	Описание
BIO7	годовой диапазон температуры
BIO8	средняя температура самого влажного квартала
BIO10	средняя температура самого теплого квартала
BIO14	осадки самого засушливого месяца
BIO15	сезонность осадков (коэффициент вариации)
BIO16	осадки самого влажного квартала
BIO18	осадки самого теплого квартала
elevel	данные о растительном покрове
cover	данные о рельефе

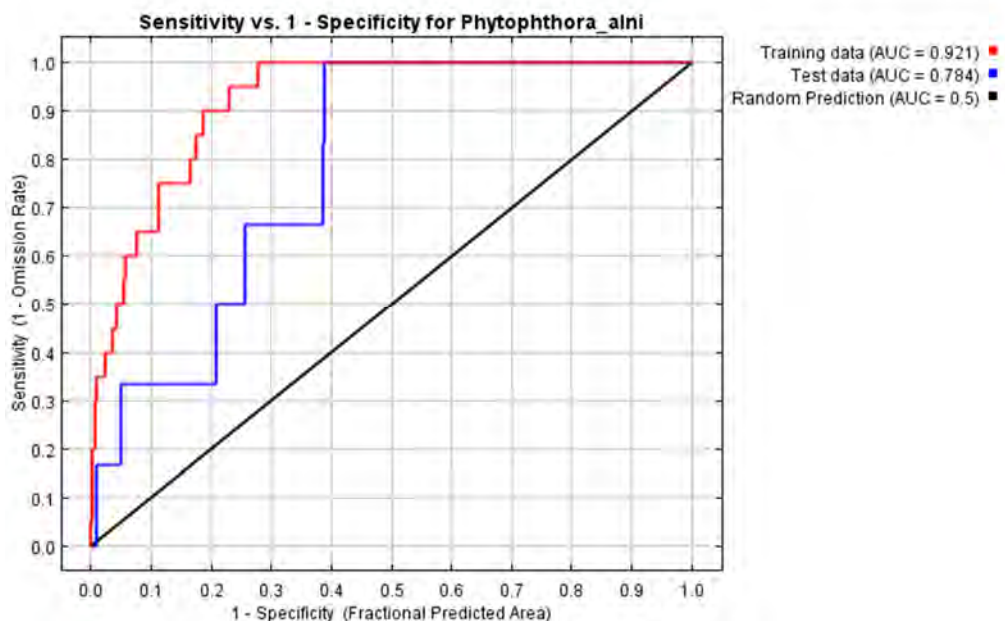


Рис. 2. Визуализация результатов проверки достоверности построенной модели распространения *Phytophthora alni* с использованием значения AUC

Fig. 2. Visualization of the results of checking the reliability of the constructed *Phytophthora alni* distribution model using the AUC value

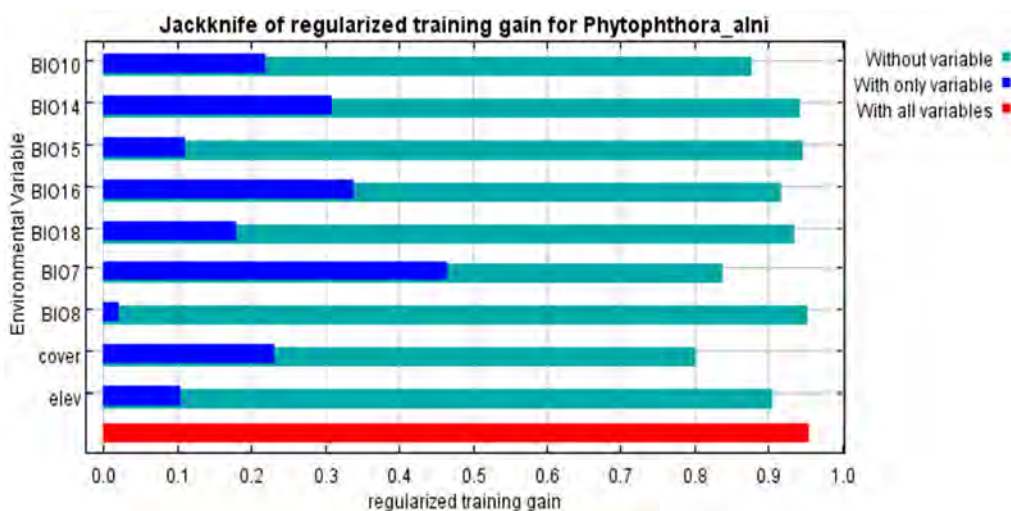


Рис. 3. Результаты визуализации jackknife-теста для оценки вклада экологических переменных в распространение *Phytophthora alni*

Fig. 3. Visualization results of the jackknife test to assess the contribution of environmental variables to the distribution of *Phytophthora alni*

Моделирование потенциального распространения *P. alni* в изменяющихся условиях окружающей среды показало, что при различных климатических сценариях рассматриваемый вид будет мигрировать в сторону больших высот и широт (рис. 5). В целом для Европы территория пригодная для натурализации и потенциального распространения инвайдера будет сокращаться. Это можно связать с продолжающимся увеличением аридности климата и опу-

стыниванием южных регионов субконтинента [25]. В то же время на территории Беларуси при «оптимистичном» и «пессимистичном» сценариях изменения климата среда обитания будет изменяться в направлении большей пригодности для *P. alni*.

В насаждениях Беларуси естественным образом произрастают две породы-хозяина *P. alni*: ольха черная (*Alnus glutinosa*) и ольха серая (*Alnus incana*), насаждения которых занимают

соответственно около 9% и 2% лесопокрытой площади [24]. Площадь ольшаников составляет более 900 тыс. га с запасом древесины 180 млн. м³. Ольховые леса занимают в основном пониженные элементы рельефа, часто вдоль водоемов и водотоков, где высока вероятность распространения оомицета *P. alni*. Выборочные лесопатологические обследования ольховых насаждений позволили выявить симптомы фитофтороза на территории охранной зоны национального парка «Браславские озера» (Опсовское лесничество), Осиповичского опытного лесхоза (Дорогановское и Дричинское лесничества), Столинского лесхоза (Кошаро-Ольманское лесничество). В большинстве очагов болезнь проявлялась на отдельных деревьях 2–5 категорий санитарного состояния. В локалитетах на юге и в центральной части республики встречаемость можно охарактеризовать как единичную. Относительно массовое поражение ольхи выявлено в насаждениях национального парка «Браславские озера», где симптомы фитофтороза зафиксированы в 11 выделах с доминированием или участием в составе *A. glutinosa* и *A. incana*, причем в некоторых случаях отмечалось групповое поражение и отмирание деревьев. Точки находок располагались в различной удаленности от водоемов и водотоков, что ставит под сомнение исключительно гидрохорный способ распространения возбудителя болезни.

У пораженных растений ольхи наблюдается дефолиация, листья становятся мелкими и преждевременно опадают. Часто отмечается суховершинность. В нижней части стволов (до высоты

2–3 метров) образуются черные или темно-рыжие мокрые пятна (водянка). На поверхности некротизированной коры периодически отмечается выделение темного экссудата (рис. 6)

Пятна указывают на отмирание находящихся под корой камбия и древесины в результате развития патологического процесса. При снятии флоры видны вытянутые зоны буровато-коричневой окраски, которые контрастно отличаются от здоровой древесины, имеющей на свежем срезе белый цвет. Со временем пораженная кора и древесина разрушаются

Качественные лесоматериалы ольхи пользуются повышенным спросом на внутреннем и внешнем рынках, благодаря богатой текстуре являются источником высококачественного сырья для производства фанеры, мебели, дверей, элементов интерьера [26]. Учитывая сценарии развития патологии в странах Европы, можно ожидать существенного объема поврежденных и ослабленных болезнью ольховых насаждений. Из-за труднодоступности таких участков в большую часть года оперативное проведение санитарно-оздоровительных мероприятий в этих условиях будет затруднительным. По оценке, основанной на регламентах Международного стандарта по фитосанитарным мерам [26], при проявлении массового усыхания ольховых насаждений потенциальный ущерб лесному хозяйству оценивается как значительный. При поражении и усыхании ольшаников следует ожидать заболачивания и обезлесения территорий, в условиях которых ольха является основным лесообразующим эдификатором.

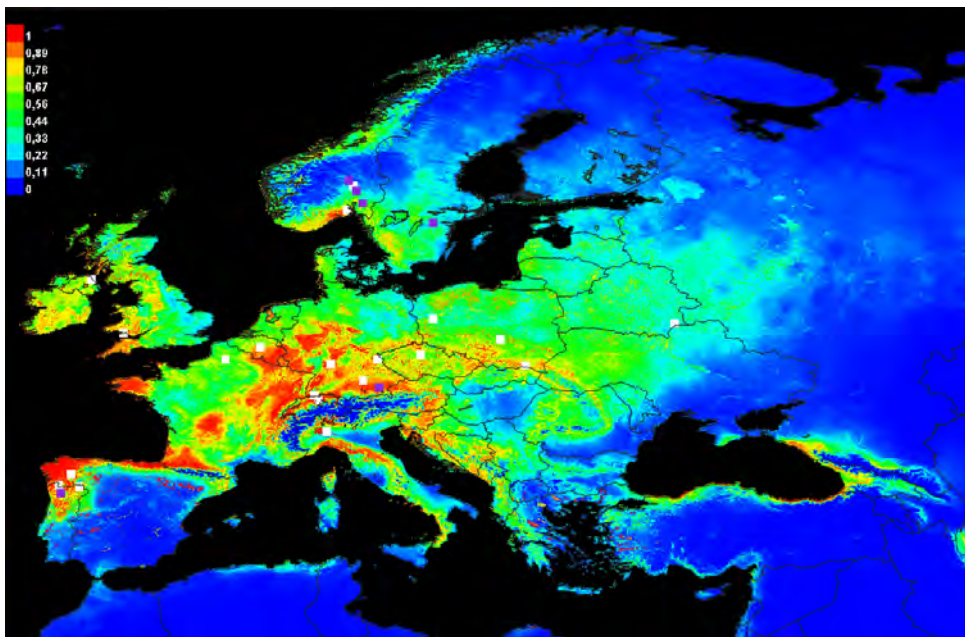


Рис. 4. Прогнозируемый ареал *Phytophthora alni*, построенный в среде Maxent

Fig. 4. Predicted range of *Phytophthora alni* in the Maxent

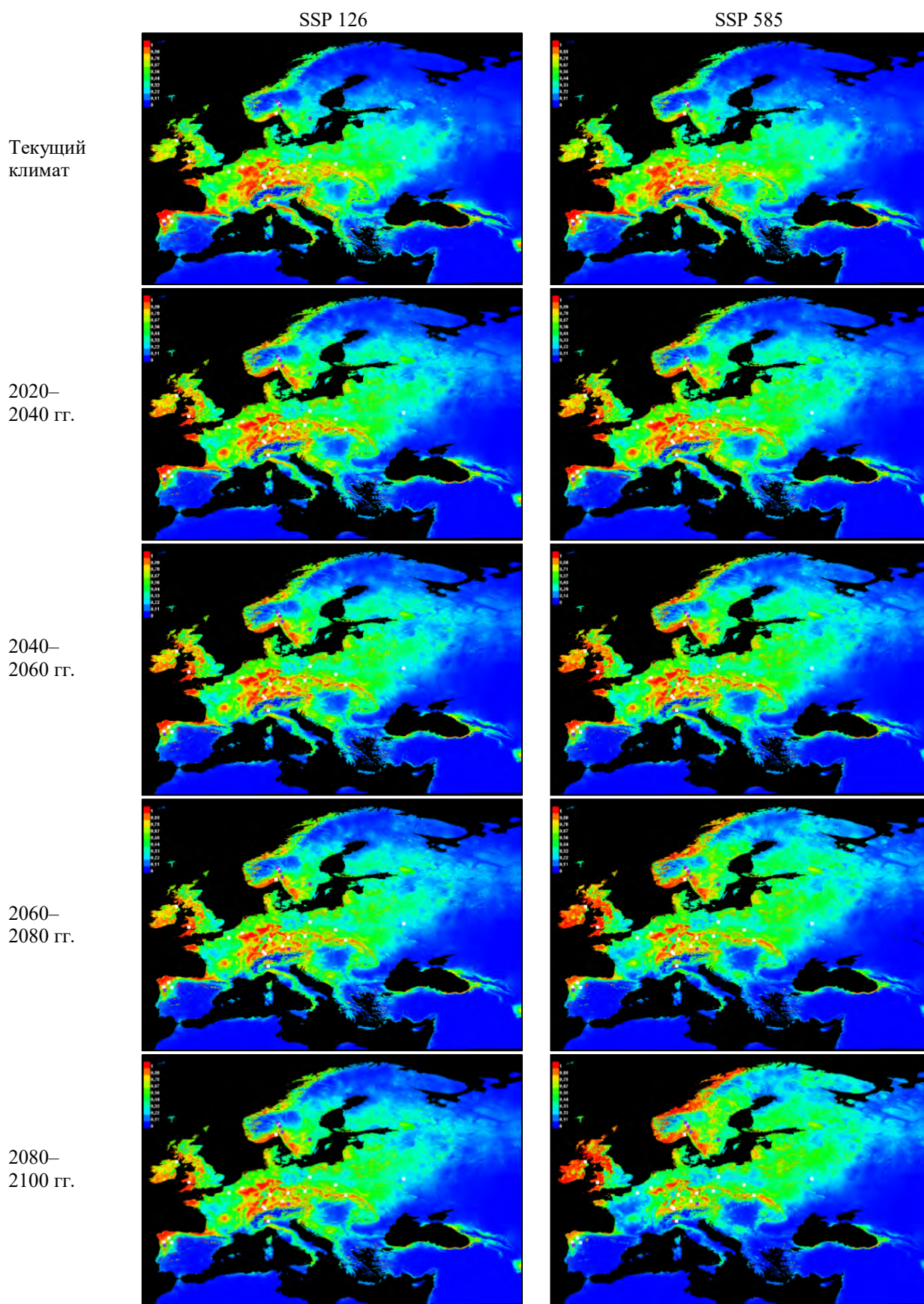


Рис. 5. Временное прогнозирование изменений благоприятности условий среды для развития потенциального ареала *Phytophthora alni*

Fig. 5. Temporal forecasting of changes in favorable environmental conditions for the development of the potential range of *Phytophthora alni*



Рис. 6. Симптомы фитофтороза ольхи черной: на коре – слева; под корой – справа (Осиповичский лесхоз, Дричинское лесничество, 2022 г.)

Fig. 6. Symptoms of black alder late blight: on the bark - on the left; under the bark - on the right (Osipovichsky forestry, Drichinsky forestry, 2022)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Компьютерное моделирование в среде Maxent является удобным и перспективным инструментом для решения задач прогнозирования развития вторичных ареалов карантинных вредных организмов в существующих условиях окружающей среды и при различных сценариях климатических изменений. Построенные прогнозы необходимы для качественного проведения анализа фитосанитарных рисков, разработки комплекса эффективных карантинных мер, организации оперативного мониторинга очагов карантинных объектов в лесном фонде страны.

Пространственно-климатическое моделирование ареала *P. alni*, показывает пригодность условий Беларуси для развития вредного организма в настоящее время и в будущем, при различных сценариях изменения климата. По данным ЕРРО, *P. alni* выявлена в странах, граничащих с Республикой Беларусь. Так, в Польше данный карантинный патоген фиксируется

с 2002 г., в Литве – с 2008 г., а в Латвии с 2015 г., поэтому предполагаются множественные пути трансграничного проникновения патогена на территорию Беларуси, как с юго-запада, так и с севера страны. Несмотря на первую находку инвайдера на юго-востоке республики еще в 2014 г., более высокая распространенность и вредность фитофтороза в настоящее время проявляется на севере страны.

В соответствии с положениями ратифицированной Республикой Беларусь Международной конвенции по карантину и защите растений в связи с выявлением вредного организма требуется проведение анализа фитосанитарного риска. Предварительная оценка позволяет прогнозировать значительный потенциальный ущерб лесному хозяйству страны и существенные экологические последствия при дальнейшем распространении и развитии этого нового заболевания ольховых насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ove, H.-G. The Impact of Climate Change on the World's Marine / H.-G. Ove, F. B. John // Ecosystems: Science. – 2010. – Vol. 328. – P. 1523–1528.
2. Harley, C. D. G. The impacts of climate change in coastal marine systems / C. D. G. Harley, A. Randall Hughes, K. M. Hultgren [et al.] // Ecology Letters. – 2006. – No 9. – P. 228–241.

3. Abbass, K. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures / K. Abbass, M. Z. Qasim, H. Songis // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – No 4. – P. 1–21.
4. Karl, T. R. Modern global climate change / T. R. Karl, K. E. Trenberth // *Science*: № 302(5651). – 2003. – P. 1719–1723.
5. Varol, T. Identifying the suitable habitats for Anatolian boxwood (*Buxus sempervirens* L.) for the future regarding the climate change / T. Varol [et al.] // *Theoretical and Applied Climatology*. – 2022. – P. 637–647.
6. Phillips, S. J. Modelling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation / S. J. Phillips, M. V. Dudic // *Ecography*. – 2008. – V. 31. – P. 161–175.
7. Steven, J. P. Software for modeling species niches and distributions. Version 3.4.1. / J. P. Steven, D. Miroslav, E. S. Robert [Electronic resource]. – Mode of access: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. – Date of access: 05.12.2022.
8. Zhang, Y. Global potential distribution prediction of *Xanthium italicum* based on Maxent model / Y. Zhang [et al.] // *Scientific Reports*. – 2021. – P. 11.
9. Shao, H. Effects of Sample Size and Species Characteristics on the Accuracy of Species Distribution in BIOCLIM Model Simulations: An Example of 12 Endemic Deciduous Oak Species in China / H. Shao, J. Q. Tian, K. Guo // *Journal of Plant Ecology*. – 2009. – P. 870–877.
10. Niu, K. Prediction of Potential Sorghum Suitability Distribution in China Based on Maxent Model / K. Niu [et al.] // *American Journal of Plant Sciences*. – 2022. – T. 13. – №. 6. – С. 856–871.
11. Brasier, C. M. *Phytophthora alni* sp. nov. and its variants: designation of emerging heteroploid hybrid pathogens spreading on Alnus trees / C. M. Brasier [et al.] // *Mycol. Res.* – 2004. – Vol. 108. – P. 1172–1184.
12. Streito, J. C. Phytophthora disease of alder (*Alnus glutinosa*) in France: Investigation between 1995 and 1999 / J. C. Streito [et al.] // *For. Pathol.* – 2002. – Vol. 32. – P. 179–191.
13. Varela, C. P. First report of Phytophthora rot on alders caused by *Phytophthora alni* subsp. *alni* in Spain / C. P. Varela [et al.] // *Plant Disease*. – 2010. – 273 p.
14. Černý, K. First finds of ‘alder Phytophthora’ in the Czech Republic / K. Černý [et al.] // *Czech Mycology*. – 2003. – Vol. 55. P. 291–296.
15. Звягинцев, В. Б. Продвижение инвазии оомицета *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk на восток – первая находка патогена в Беларуси / В. Б. Звягинцев, О. Ю. Баранов, С. В. Пантелеев // *Защита лесов от вредителей и болезней: научные основы, материалы, методы: материалы Всероссийской конференции с международным участием*. – Иркутск, 2015. – С. 102–104.
16. Global Biodiversity Information Facility [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.gbif.org/ru/occurrence/search>. – Date of access: 05.12.2022.
17. European and Mediterranean Plant Protection Organization [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gd.eppo.int/taxon/PHYTRA/distribution>. – Date of access: 05.12.2022.
18. GlobCover land Cover Maps climate [Electronic resource]. – Mode of access: <http://due.esrin.esa.int/page/globcover.php>. – Date of access: 05.12.2022.
19. World Clim: maps, graphs and data of the global climate [Electronic resource]. – Mode of access: <http://worldclim.org/>. – Date of access: 05.12.2022.
20. Wayne G. P. The Beginner’s Guide to Representative Concentration Pathways // *Skeptical Science*. Version 1.0. – 2013. – 25 p.
21. Краткое введение в Maxent. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gis-lab.info/qa/maxent.html>.D0.98.D0.BD.D1.82.D0.B5.D1.80.D0.B.B5.29. – Date of access: 05.12.2022.
22. Phillips, S. J. Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling / S. J. Phillips // *ICML 04 Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*. – New York, 2004. – P. 655–662.
23. Swets, J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems / J. A. Swets // *Science: New Series*. – 1988. – Vol. 240. – No. 4857. – P. 1285–1293.
24. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2021 г. // М-во лесного хозяйства Респ. Беларусь. Л/у респ. унит. предпр. «Белгослес». – Минск, – 2020. – 65 с.
25. Gao, X. Increased aridity in the Mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution simulations with a regional climate model / X. Gao, F. Giorgi // *Global and Planetary Change*. – 2008. – T. 62. – №. 3–4. – С. 195–209.
26. Пауль, Э. Э. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Э. Э. Пауль, В. Б. Звягинцев. – Минск: БГТУ, 2015. – 315 с.
27. Анализ фитосанитарного риска для карантинных вредных организмов // МСФМ № 11. – Рим, МККЗР. ФАО, 2014. – 46 с.

Поступила в редакцию 10.05.2023 г.

УДК 632.4:633.88

С. И. КОРИНЯК

ФИТОПАТОГЕННЫЕ ДЕМАТИЕВЫЕ ГИФОМИЦЕТЫ В ДУБРАВАХ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗАКАЗНИКА «ВЫДРИЦА»

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: SS70@mail.ru*

Аннотация. В статье приводятся данные о ботанико-микологических исследованиях в течение вегетационного периода 2022 г. в дубравах на территории республиканского ландшафтного заказника «Выдрица». В лесных фитоценозах проведены сбор пораженных растений и идентификация анаморфных грибов. В результате выявлено 12 видов микромицетов из 9 родов, идентифицированных на 28 видах растений, принадлежащих к 19 семействам. Идентифицированные микромицеты являются возбудителями пятнистостей листьев и могут представлять потенциальную опасность для высших растений лесных фитоценозов заказника «Выдрица».

Ключевые слова: заказник, фитопатогенные грибы, анаморфные грибы, пятнистости листьев.

S. I. KORINIAK

PHYTOPATHOGENIC DEMATIACEOUS HYPHOMYCETES IN THE OAK FORESTS OF NATIONAL RESERVE «VYDRITSA»

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: SS70@mail.ru*

Annotation. The article told about mycology research having been done at the vegetation period of time 2022 of oak-forest at the territory of Landscape national reserves «Vydritsa». At the forest phytocenoses the work to collection of plants and identification of fungi was done. In result of the work 12 species of fungus from 9 genres on 28 species of plants from 19 families were identified. Almost all fungus are agents of plants spots. Under the auspicious weather conditions the pathogens can be represent a danger for higher plants of forest phytocenoses of reserve «Vydritsa».

Keywords: reserve, pathogen fungi, anamorphic fungi, leaf spots.

ВВЕДЕНИЕ

Республиканской заказник «Выдрица» расположен на территории Жлобинского и Светлогорского р-нов Гомельской обл. Республики Беларусь. Заказник основан в 1999 г. в целях сохранения в естественном состоянии уникального природного комплекса с популяциями редких и исчезающих видов растений и животных, площадь заказника – 17560 га. Заказник является важным элементом в миграционных процессах, обеспечивая благоприятные условия для сохранения и распространения редких видов животных и дикорастущих растений. Во флоре заказника насчитывается 670 видов сосудистых растений, среди них 5 видов плаунов, 6 – хвощей, 11 – папоротникообразных, занесенных в Красную Книгу Республики Беларусь.

Одной из задач сохранения растительных комплексов охраняемых территорий является оценка фитосанитарного состояния, в частности, определение видового разнообразия микромицетов, вызывающих болезни сосудистых растений. Среди заболеваний наиболее распространены пятни-

стости листьев, причиной возникновения которых в основном являются анаморфные грибы и их микоконкомплекс, оказывающие негативное воздействие на рост и развитие растений. Дематиевые гифомицеты (окрашенные гифальные грибы), являясь составляющей компонентой биоты анаморфных грибов, способны выступать как в качестве сапротрофов, так и проявлять патогенные свойства. В определенный период времени (обильное выпадение осадков или длительный засушливый период) могут спровоцировать появление пятнистостей листьев, тем самым нарушая физиологические функции растения-хозяина, что может привести к возникновению эпифитотий и, порой, к гибели всей популяции. Поэтому идентификация видового состава гифомицетов, в частности дематиевых, выявление их распространенности, разработка мер борьбы с ними и внедрение защитных мероприятий в практику природопользования имеют существенное значение для сохранения редких видов растений на охраняемой территории.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ботанические исследования проводились в дубравах заказника маршрутно-поисковым методом. Исследование микобиоты сопровождалось сбором гербарного материала с видимыми признаками поражения на вегетативных частях растений. При изучении видового состава микромицетов использованы общепринятые методы В. И. Билай [1]. Виды грибов, а также их синонимы и анаморфы приведены в соответствии с международной микологической базой данных *Index fungorum* [2]. Для уточнения видовых названий растений использована монография Н. Н. Цвеле-

ва [3], а также электронная база данных (MBG's electronic databases) *Tropicos* [4].

Фитопатогенные микромицеты, паразитирующие на сосудистых растениях заказника «Выдрица», внесены в базу данных национального Гербария MSK-F (номера по базе от 23274 по 23420). Гербарий растений, пораженных фитопатогенными грибами, смонтирован на листах формата А3 (62 гербарных листа) и находится в коллекции грибов лаборатории микологии Института экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купровича НАН Беларуси.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспедиционных работ исследованы лесные сообщества и собраны гербарные образцы из следующих местообитаний Гомельской обл., Светлогорского р-на, республиканского ландшафтного заказника «Выдрица», Искровского л-ва:

- кв. 56, дубрава кисличная;
- кв. 59, дубрава кисличная;
- кв. 23, дубрава злаково-пойменная;
- кв. 64, дубрава злаково-пойменная;
- кв. 49, дубрава злаково-пойменная.

Далее приведен список выявленных видов анормальных дематиевых грибов, их синонимов и анаморф с указанием растения-хозяина, на котором данный микромицет был отмечен. Также указано местонахождение микромицетов (географические привязки мест сборов): область, район, лесничество, квартал и тип леса для каждого вида.

Alternaria

Nees, Syst. Pilze (Würzburg): 72 (1816) [1816–17]

Alternaria alternata (Fr.) Keissl., Beih. bot. Zbl., Abt. 2 29: 434 (1912). Syn.: *Torula alternata* Fr., Syst. mycol. (Lundae) 3 (2): 500 (1832). *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl., Beih. bot. Zbl., Abt. 2 29: 434 (1912) var. *alternate*. *Ulocladium consortiale* sensu Brook; fide NZfungi (2008). Pleosporaceae [5–8].

На листьях *Polygonatum officinale* All. (Liliaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Majanthemum bifolium* F.W. Schmidt. (Liliaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Plantago major* L. (Plantaginaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Респуб-

ликанский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Rubus saxatilis* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Trifolium medium* L. (Fabaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Paris qadriifolia* L. (Melanthiaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Thalictrum flafum* L. (Ranunculaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Paris qadriifolia* L. (Melanthiaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Salix caprea* L. (Salicaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

Alternaria chartarum Preuss., Flora, Regensburg 34: no. 27 (1851). Syn.: *Sporidesmium polymorphum* var. *chartarum* (Preuss) Cooke, Fungi Brit. Exs., ser. 2: no. 329 (1875). *Ulocladium chartarum* (Preuss) E.G. Simmons, Mycologia 59 (1): 88 (1967). *Alternaria chartarum* Preuss, Flora, Regensburg 34: no. 27 (1851) f. *chartarum*. Pleosporaceae [6–8].

На листьях *Fragaria vesca* L. (Rosaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

Alternaria tenuissima (Fr.) Wiltshire. Trans. Br. mycol. Soc. 18: 157 (1933) Syn.: *Clasterosporium tenuissimum* (Nees & T. Nees) Sacc., Syll. fung. (Abellini) 4: 393 (1886). *Helminthosporium tenuissimum* Kunze, in Nees & Nees: 242 (1818)., *Macrosporium tenuissimum* (Kunze) Fr.,: 374 (1832). *Pleosporaceae* [3, 4, 6, 8].

На листьях *Tanacetum vulgare* L. (Asteraceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Домановское л-во. Кв. 112. Пойменная дубрава.

На листьях *Trifolium medium* L. (Fabaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Betula pendula* Roth. (Betulaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Veronica chamaedris* L. (Scrophulariaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Rubus idaeus* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Frangula alnus* Mill. (Rhamnaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Fragaria vesca* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Trifolium medium* L. (Fabaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (Rosaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Corylus avellana* L. (Betulaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Ulmus minor* Mill. (Betulaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Oenothera biennis* L. (Onagraceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Quercus robur* L. (Fagaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Rubus caesius* L. (Rosaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (Rosaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Rubus saxatilis* L. (Rosaceae). Местонахождение: Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

Aureobasidium

Viala & G. Boyer, Rev. gén. Bot. 3: 371 (1891)

Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud, Annals d'École National d'Agric. de Montpellier, Série 2 16 (1–4): 39 (1918) [1917]. Syn.: *Dematium pullulans* de Bary & Löwenthal, Vergl. Morph. Biol. Pilze (Leipzig): 182 (1884). *Sacotheciaceae* [5, 6, 8].

На листьях *Acer platanoides* L. (Aceraceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Rubus saxatilis* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

Cercospora

Fresen. ex Fuckel, Hedwigia 2 (15): 133 (1863)

Cercospora paridis Erikss., Hedwigia 22: 158 (1883). Syn.: *Cercosporidium paridis* (Erikss.) X.J.

Liu & Y.L. Guo, Acta Mycol. Sin. 1 (2): 99 (1982). *Mycosphaerellaceae* [9, 10].

На листьях *Paris qadriifolia* L. (Melanthiaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Paris qadriifolia* L. (Melanthiaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

***Cladosporium* Link, Mag. Gesell. naturf. Freunde, Berlin 7: 37 (1816) [1815]**

Cladosporium gracile Corda, Icon. fung. (Prague) 1: 15 (1837). Syn.: *Didymotrichum gracile* (Corda) Bonord., Handb. Allgem. mykol. (Stuttgart): 89 (1851). Cladosporiaceae [5, 8].

На листьях *Quercus robur* L. (Fagaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. кв 56, 59,

Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв 64. Дубрава злаково-пойменная. Дубрава злаково-пойменная.

Cladosporium herbarum (Pers.) Link, in Willdenow, Mag. Gesell. naturf. Freunde, Berlin 8: 37 (1816) [1815]. Syn.: *Dematium herbarum* Pers., Ann. Bot. (Usteri) 11: 32 (1794). Cladosporiaceae [3, 4, 6, 8].

На листьях *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Ландшафтный республиканский заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Trifolium medium* L. (Fabaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Acer platanoides* L. (Aceraceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Majanthemum bifolium* F.W. Schmidt. (Liliaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Veronica chamaedris* L. (Scrophulariaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Glechoma hederacea* L. (Lamiaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Frangula alnus* Mill. (Rhamnaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Fragaria vesca* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Pteridium pinetorum* C.N. Page & R.R. Mill. (Dennstaedtiaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Ландшафтный республиканский заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Rubus saxatilis* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Corylus avellana* L. (Betulaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. кв 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Oenothera bienis* L. (Onagraceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Paris qadriifolia* L. (Melanthiaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Pyrus communis* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Thalictrum flavum* L. (Ranunculaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Fragaria vesca* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Glechoma hederacea* L. (Lamiaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Melampyrum nemorosum* L. (Scrophulariaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

Curvularia Boedijn,

Bull. Jard. bot. Buitenz, 3 Sér. 13 (1): 123 (1933)

Curvularia lunata (Wakker) Boedijn, Bull. Jard. bot. Buitenz, 3 Sér. 13 (1): 127 (1933). Syn.: *Acrothecium lunatum* Wakker, in Wakker & Went, De Ziekten van het Suikerriet op Java: 196 (1898). *Helminthosporium caryopsidum* Sacc. [as 'Helmisporium'], Annls mycol. 12 (3): 313 (1914). *Pleosporaceae* [5, 6, 8].

На листьях *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

Embellisia E.G. Simmons 1971

Embellisia chlamydospora (Hoes, G.W. Bruehl & C.G. Shaw) E.G. Simmons, Mycologia 63 (2): 384 (1971). Syn.: *Pseudostemphylium chlamydosporum* Hoes, G.W. Bruehl & C.G. Shaw, Mycologia 57: 904 (1965). *Pleosporaceae* [6, 8].

На листьях *Thalictrum flafum* L. (Ranunculaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

Stemphylium Wallr.,

Fl. crypt. Germ. (Norimbergae) 2: 300 (1833)

Stemphylium botryosum Wallr. Fl. crypt. Germ. (Nürnberg) 2: 300 (1833). Syn.: *Stemphylium botryosum* Wallr., Fl. crypt. Germ. (Norimbergae) 2: 300 (1833) var. *botryosum*. *Stemphylium botryosum* Wallr., Fl. crypt. Germ. (Norimbergae) 2: 300 (1833) f. *botryosum*. *Pleospora tarda* E.G. Simmons, Sydowia 38: 291 (1986). *Pleosporaceae* [6–8].

На листьях *Betula pendula* Roth. (Betulaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Ландшафтный Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Rubus idaeus* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Acer platanoides* L. (Aceraceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Trifolium medium* L. (Fabaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 59. Дубрава кисличная.

На листьях *Corylus avellana* L. (Betulaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Convallaria majalis* L. (Asparagaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 23. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Quercus robur* L. (Fagaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Rubus caesius* L. (Rosaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 64. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Thalictrum flafum* L. (Ranunculaceae). Местонахождение: Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Rubus saxatilis* L. (Rosaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

На листьях *Paris quadrifolia* L. (Melanthiaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

Triposporium

Corda, Icon. fung. (Prague) 1: 16 (1837)

Triposporium elegans Corda, Icon. fung. (Prague) 1: 16 (1837). *Pezizellaceae* [8].

На листьях *Glechoma hederacea* L. (Lamiaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

***Ulocladium* Preuss, Linnaea 24: 111 (1851)**

Ulocladium botrytis Preuss, Linnaea 24: 111 (1851). Syn.: *Alternaria botrytis* (Preuss) Woudenb. & Crous, Stud. Mycol. 75 (1): 206 (2013). *Stemphylium botryosum* var. *ulocladium* (Preuss) Sacc., Syll. fung. (Abellini) 4: 522 (1886). Pleosporaceae [8].

На листьях *Rubus idaeus* L. (Rosaceae). Гомельская обл., Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 56. Дубрава кисличная.

На листьях *Salix caprea* L. (Salicaceae). Гомельская обл. Светлогорский р-н. Республиканский ландшафтный заказник «Выдрица». Искровское л-во. Кв. 49. Дубрава злаково-пойменная.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных ботанико-микологических исследований с признаками поражений анаморфными грибами собрано 28 видов растений из 19 семейств. На пораженных органах растений идентифицировано 12 видов микромицетов из 9 родов *Alternaria*, *Aureobasidium*, *Cercospora*, *Cladosporium*, *Curvularia*, *Embellisia*, *Stemphylium*, *Triposporium*, *Ulocladium*.

Дематиевый гифомицет *Cladosporium herbarum* идентифицирован на 21 виде растений. *Alternaria tenuissima* колонизирует листья 20 видов. *Stemphylium botryosum* обнаружен на листьях 13 видов. *Alternaria alternata* идентифицирован на листьях 8 видов. *Ulocladium atrum* встречается на

2 видах растений. *Aureobasidium pullulans* также отмечен на листьях 2 видов. Каждый из гифомицетов *Cercospora paridis*, *Cladosporium gracile*, *Curvularia lunata*, *Embellisia chlamydospora*, *Stemphylium botryosum*, *Triposporium elegans* колонизируют по 1 виду растений.

Таким образом, результаты проделанной работы и краткий обзор частоты встречаемости дематиевых гифомицетов свидетельствуют о необходимости проведения систематических исследований не только в дубравах, но и в других формациях республиканского ландшафтного заказника «Выдрица».

ЛИТЕРАТУРА

1. Билай, В. И. Методы экспериментальной микологии. / В. И. Билай. – 1-е изд. – Киев: Наукова думка, 1982. – 552 с.
2. Kirk, P. M. Index of fungi / P. M. Kirk // The global fungal nomenclator [Electronic resource]. – The CABI, 2003–2004. – Mode of access: <http://indexfungorum.org/>. – Date of access: 07.03.2023.
3. Цвелев, Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-западной России / Н. Н. Цвелев. – Санкт-Петербург: СПХФА, 2000. – 782 с.
4. Shaw Boulevard – Saint Louis Missouri. Missouri botanical garden [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.tropicos.org/> – Date of access: 17.03.2023.
5. Визначник грибів України. Несовершені гриби. / С. Ф. Морочковський, [и др.]; под общ. ред. Д. К. Зерова. – 1-е изд. – Київ: Наукова думка, 1971. – Т. 3. – 696 с.
6. Пидопличко, Н. М. Грибы – паразиты культурных растений. Определитель: в 3 т. / Н. М. Пидопличко. – 1 изд. – Киев: Наукова думка, 1977. – Т. 2: Грибы несовершенные. – 299 с.
7. Флора споровых растений Казахстана. Несовершенные грибы. Монилиальные / С. Р. Шварцман [и др.]; под общ. ред. С. Р. Шварцмана. Алма-Ата: Наука, 1975. – Т. VIII. – Ч. 2. – 520 с.
8. Ellis, M. V. Dematiaceous hyphomycetes / M. V. Ellis. – 1-t ed. – Surrey: Kew, 1971. – 608 p.
9. Василевский, Н. И. Паразитные несовершенные грибы. Определитель: в 2 т. / Н. И. Василевский, Б. П. Каракулин. – 1-е изд. – М.Л.: Академия наук СССР, 1937. – Т. 1: Гифомицеты – 518 с.
10. Флора споровых растений Казахстана. Несовершенные грибы. Монилиальные / С. Р. Шварцман [и др.]; под общ. ред. С. Р. Шварцмана. Алма-Ата: Наука, 1973. – Т. VIII. – Ч. 1. – 528 с.

Поступила в редакцию 21.03.2023 г.

УДК 582.282.193.8+581.95

Е. В. РАХИМОВА, Л. А. КЫЗМЕТОВА, Г. СЫПАБЕККЫЗЫ, А. М. АСЫЛБЕК

ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РОДА *PLEOSPORA* RABENH. (*ASCOMYCOTA*) НА ЮГО-ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА

Институт ботаники и фитоинтродукции, Алматы, Казахстан, e-mail: evrakhim@mail.ru

Аннотация. Сведения о количестве и распределении видов рода *Pleospora* Rabenh. на территории юго-востока Казахстана недостаточны и значительно устарели (особенно таксономия видов). Поэтому целью нашей работы было проведение ревизии, установление видового состава и распространения рода *Pleospora* на юго-востоке Казахстана. В статье представлены итоги микологических исследований 2014, 2018–2022 гг. Приготовление препаратов грибов, их изучение и идентификация осуществлялись по стандартной методике. Приводится аннотированный список 42 видов рода *Pleospora*, обитающих на 89 видах растений-хозяев из 71 рода. Вид *Pleospora amphoricarpi* (Bubák) Wehm. на *Tulipa* sp. обнаружен впервые на территории юго-востока Казахстана. Максимальное количество видов рода *Pleospora* отмечено на семействах Asteraceae Bercht. et J. Presl (12), Poaceae Barnhart (11) и Fabaceae Lindl. (10). В качестве растения-хозяина впервые отмечены 20 видов сосудистых растений. Наибольшее разнообразие видов рода *Pleospora* характерно для хребта Заилийский Алатау – 24 вида, что составляет 28% от общего числа видов плеоспоры на территории юго-востока Казахстана. Четыре вида: *Pleospora rudis* Berl., *P. chlamydospora* Sacc., *P. curvasca* Bubák и *P. helvetica* Niessl наиболее широко распространены на территории юго-востока Казахстана. Максимальное разнообразие видов рода *Pleospora* приурочено к высотам 900–1100 (16 видов) и 700–900 м над уровнем моря (11), что соответствует поясам степей и предгорных пустынь.

Ключевые слова: гриб, паразит, перитеций, сапротроф, специализация, растение-хозяин.

Y. V. RAKHIMOVA, L. A. KYZMETOVA, G. SYRABEKKYZY, A. M. ASSYLBEK

SPECIES COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF THE GENUS *PLEOSPORA* RABENH. (*ASCOMYCOTA*) IN THE SOUTHEAST OF KAZAKHSTAN

Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, Kazakhstan, e-mail: evrakhim@mail.ru

Annotation. Information on the number and distribution of species of the genus *Pleospora* Rabenh. in the territory of the south-east of Kazakhstan are insufficient and significantly outdated (especially the taxonomy of species). Therefore, the purpose of our work was to revise, establish the species composition and distribution of the genus *Pleospora* in the southeast of Kazakhstan. The article presents the results of mycological studies in 2014, 2018–2022. The preparation of fungi samples, their study and identification were carried out according to the standard method. The samples were studied and photographed using a Polyvar photomicroscope with Nomarsky interference optics. An annotated alphabetical list of 42 *Pleospora* species on 89 host plant species from 71 genera is provided. Species *Pleospora amphoricarpi* (Bubák) Wehm. on *Tulipa* sp. discovered for the first time in the south-east of Kazakhstan. The maximum number of species of the genus *Pleospora* was noted in the families Asteraceae Bercht. et J. Presl (12), Poaceae Barnhart (11), and Fabaceae Lindl. (10). For the first time, 20 species of vascular plants have been noted as host plants. The greatest diversity of species of the genus *Pleospora* is typical for the Zailiysky Alatau ridge – 24 species, which is 28% of the total number of pleospore species in the southeast of Kazakhstan. Four species: *Pleospora rudis* Berl., *P. chlamydospora* Sacc., *P. curvasca* Bubák and *P. helvetica* Niessl are the most widely distributed in the south-east of Kazakhstan. The maximum diversity of species of the genus *Pleospora* is confined to altitudes of 900–1100 (16 species) and 700–900 m above sea level (11), which corresponds to the belts of steppes and foothill deserts.

Keywords: fungus, host plant, parasite, perithecium, saprotroph, specialization.

ВВЕДЕНИЕ

Род *Pleospora* Rabenh. относится к семейству Pleosporaceae Nitschke, самому крупному и наиболее типичному из порядка Pleosporales Luttr. ex M. E. Barr, для которого характерны: пло-

дые тела в виде перитециев, плеоспороподобный тип развития центра перитеция [1], битуникатные сумки с муральными коричневыми аскоспорами и септированные псевдопарафизы с

анастомозами. Семейство насчитывает 36 родов и 769 видов [2]. Большинство видов является сапрофитами и обитает на отмерших частях растений. В целом, виды *Pleospora* географически широко распространены и не сильно лимитированы видами хозяев [3]. Представители рода характеризуются слабой пищевой специализацией: часть видов (*Pleospora aceris-tatarici* Sandu, *P. amelanchieris* Wehm., *P. juglandina* Feltgen и др.) обитает преимущественно на древесных растениях, другая часть (*P. coloradensis* Ellis et Everh., *P. curvasca* Bubák и др.) – на двудольных, третья часть (*P. alismatis* Ellis & Everh., *P. avenae* Rathschlag и др.) – в основном, на однодольных. Незначительная часть видов (*P. tretiaichii* Hafellner, *P. bernandetae* van den Boom, *P. physciae* (Brackel) Hafellner & E. Zimm., *P. xanthoriae* Khodos. & Darmostuk, и др.) является лишенофильной [4, 5]. Род *Pleospora* имеет явно полифилетическую природу [6]. Так, результаты секвенирования 28S региона rDNA показали что три вида *P. bjoerlingii*, *P. iqbalii* и *P. rubicunda* даже не связаны с представителями Pleosporaceae, а сестринскую группу с тремя видами рода *Pleospora* образуют *Cochliobolus cynodontis*, *C. heterostrophus* и *C. nodulosus*, которые, как известно, производят анаморфы из рода *Stemphylium* [7]. Таксономическое положение представи-

телей рода *Pleospora* уточняется постоянно [8, 9], и некоторые плеоспороподобные виды в настоящее время перенесены в другие роды [10].

Наиболее обычными анаморфами в семействе Pleosporaceae являются *Alternaria*, *Bipolaris*, *Phoma* и *Stemphylium*, которые могут быть как сапрофитами, так и паразитами на различных растениях [11], имеющими важное экономическое значение. К таким видам можно отнести возбудитель зональной пятнистости листьев свеклы – *P. bjoerlingii* Byford (*Phoma betae* A.B. Frank). Кроме листьев, где при поражении образуются крупные жёлтые или светло-бурые некротические пятна с концентрическими зонами, гриб может поражать стебли, проростки, семена и корни свеклы [12], приводя, иногда, к значительному снижению урожайности. Обычно заболевают ослабленные растения. Однако для некоторых представителей *Pleospora* *Phoma*, *Dendryphon* и *Diplodia* характерны анаморфы [7].

Некоторые исследователи отмечали [3], что в ряде регионов, таких как Южная Америка, Африка, Азия, виды рода *Pleospora* не собирались, или собирались очень неравномерно. Поэтому целью наших исследований было проведение ревизии, установление видового состава и распределения рода *Pleospora* на юго-востоке Казахстана.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для статьи послужили собственные сборы авторов. Образцы были собраны в полевой период 2014, 2018–2022 гг. при микологическом обследовании территории юго-востока Казахстана: хребтов Заилийский Алатау, Джунгарский Алатау, Кунгей Алатау, Кетмень, Алтын-Эмель, Кастекский, гор Малайсары, Сюгаты, Богуты, Турайгыр и Чулак. Обследование выполняли маршрутным методом.

Географическое положение места сбора образцов было записано с использованием GPS (Garmin). Обработка гербарного материала, сушка, приготовление временных препаратов, микрофотографирование осуществляли по стандартной методике [13]. Образцы изучали и фотографировали с помощью фотомикроскопа Polyvar

(Reichert-Jung, Австрия) с интерференционной оптикой Номарского. Из морфологических признаков обращали внимание на размер, форму и степень погружения плодовых тел, остиолы, признаки и форму асков и аскоспор. Обнаруженные грибы были идентифицированы с помощью соответствующих определителей [3, 14]. Названия видов *Pleospora* и авторы приведены в соответствии с базами данных Index Fungorum [15] и MycoBank [16], названия питающих растений – с базой данных Catalogue of Life [17].

Дополнительно для статьи были привлечены гербарные образцы, хранящиеся в гербарии Института ботаники и фитоинтродукции, а также литературные данные [18, 19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из рода *Pleospora* на территории юго-востока Казахстана обнаружены 42 вида, паразитирующие на 89 видах растений-хозяев из 71 рода.

Алфавитный список видов *Pleospora* с указанием растений-хозяев, местонахождений и координат сбора приведен далее.

Род *Pleospora* Rabenh. ex Ces. et De Not.

Pleospora ambigua (Berl. et Bres.) Wehm. – на листьях и стеблях *Anthoxanthum alpinum* Á. Löve et D. Löve, хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 3436 м н. у. м., N43°07'52.5", E77°30'25", 03.08.2005, [18]. Ранее вид был отмечен только в Южном Казахстане [14].

Pleospora amelanchieris Wehm. – на *Astragalus* sp., трасса г. Талдыкурган – ст. Матай, севернее поворота на ст. Егинсу, пески, туранговая роща, т. 490, 414 м н. у. м., N45°42'26.0", E78°38'17.3", 6.08.2022, Е.В. Рахимова; на *Populus tremula* L., хр. Заилийский Алатау, осинники, 1590 м н. у. м., 31.05.1946, М.Н. Кузнецова.

Pleospora amphoricarpi (Bubák) Wehm. (рис. 1а) – на *Tulipa* sp., горы Большие Богуты, ущ., 1202 м н. у. м., N43°45'98.0", E078°88'06.3", 31.03.2018, Е.В. Рахимова. Ранее вид был отмечен только в Южном Казахстане [14].

Pleospora anceps Berl. et Sacc. – на *Atraphaxis virgata* (Regel) Krasn., горы Сюгаты, сухие склоны, 13.07.1956, Б.К. Калымбетов.

Pleospora asperulae Pass. – на *Artemisia santolinifolia* Turcz. ex Besser, хр. Джунгарский Алатау, ущ. Саркандское, еловый лес, 1850 м н. у. м., N45°09'54.0", E080°01'06.8", 20.08.2021, А.М. Асылбек; на *Artemisia terrae-albae* Krasch., пойма р. Или, дорога к пос. Баканас, 03.06.1969, Н.Т. Кажиева; на *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 1500 м н. у. м., 13.11.1957, Б.К. Калымбетов. Несмотря на то, что в качестве хозяев для этого вида приводятся представители рода *Asperula* L. [3], по морфологическим признакам мы отнесли найденные на других растениях образцы к виду *Pleospora asperulae*.

Pleospora brachyspora (Niessl) Petr. – на листьях и стеблях *Cerastium cerastoides* (L.) Britton,

хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 3436 м н. у. м., N43°07'52.5", E77°30'25", 03.08.2005, [18].

Pleospora bjoerlingii Byford (*Phoma betae* A.V. Frank) – на *Beta vulgaris* L., окрестности г. Алматы и Каскелена, 1958, Г.Н. Куликова.

Pleospora chlamydospora Sacc. (рис. 1б) – на *Astragalus sieversianus* Pall., горы Сюгаты, 01.06.1937, Г.С. Неводовский; на *Convolvulus tragacanthoides* Turcz., горы Сюгаты, в пойме реки, 22.05.1955, Б.К. Калымбетов; хр. Джунгарский Алатау, к востоку от пос. Аулиеагаш, сухое русло ручья, 1076 м н. у. м., N44°20'08.6", E79°50'08.6", 18.09.2021, Г.А. Урманов; на *Malva thuringiaca* (L.) Vis., хр. Джунгарский Алатау, ущ. Чажа, пойменный лиственный лес, 1249 м н. у. м., N44°51'41.1", E078°56'07.4", 17.06.2021, С.Б. Нурашов; на *Poa relaxa* Ovcz., хр. Заилийский Алатау, каменистая осыпь, 2800 м н. у. м., 24.07.1947, М.Н. Кузнецова; на *Silene kuschakewiczii* Regel & Schmalh., Кастекский хр., субальпийский пояс, каменистый склон, 15.06.1955, З.М. Бызова; на *Silene* sp., хр. Заилийский Алатау, ущ. Большое Алматинское, 1927 м н. у. м., N43°06'23.8", E076°56'46.4", 27.04.2018, Л.А. Кызметова; на *Salvia deserta* Schangin, хр. Чулак, широкое ущ. с выходом на плато, 829 м н. у. м., N43°55'54.4", E077°48'25.9", 27.05.2022, Е.В. Рахимова; на *Stipa kirghisorum* P.A. Smirn., горы Сюгаты, 14.07.1956, Б.К. Калымбетов; на *Trisetum spicatum* (L.) K. Richt., хр. Заилийский Алатау, и манжетково-злаковый луг, 2900 м н. у.

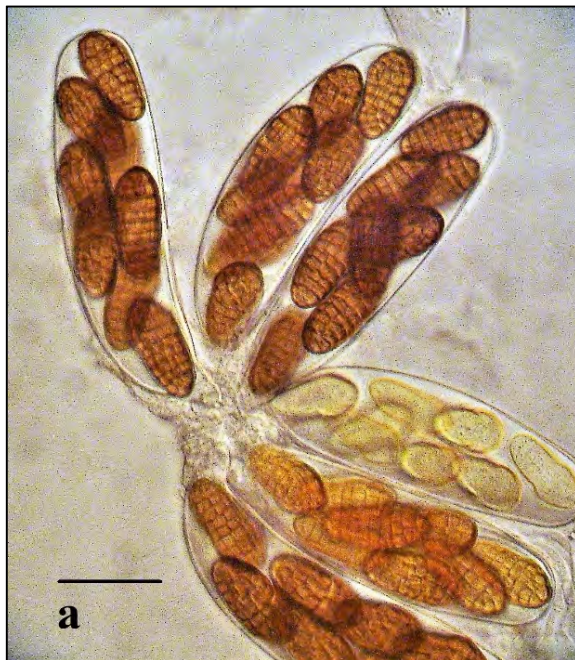


Рис. 1. Сумки с аскоспорами: а – *Pleospora amphoricarpi* на *Tulipa* sp., шкала 10 мкм; б – *Pleospora chlamydospora* на *Salvia deserta*, шкала 10 мкм.

Fig. 1. Asci with ascospores: а – *Pleospora amphoricarpi* on *Tulipa* sp., scale 10 μ m; б – *Pleospora chlamydospora* on *Salvia deserta*, scale 10 μ m.

м., 9.08.1943, В.П. Голоскоков; на *Ziziphora clinopodioides* Lam., отроги хр. Джунгарский Алатау, северные склоны хр. Алтын Эмель, ущ. Кыскасай, т. 18, 1653 м над ур. м., N44°19'75.7", E78°36'75.7", 19.06.2022, Л.А. Кызметова. Вид широко распространен в Казахстане и встречается на отмерших стеблях растений из различных семейств [14].

Pleospora coloradensis Ellis et Everh. – на *Bassia prostrata* (L.) Beck, горы Сюгаты, каменистые склоны, 17.07.1957, Г.С. Неводовский; на *Gentiana kaufmanniana* Regel et Schmalh., хр. Заилийский Алатау, ущ. Малое Алматинское, ледник Туюксу, каменистые осыпи, 3200 м н. у. м., 25.07.1942, М.Н. Кузнецова; на *Linum altaicum* Ledeb. ex Juz., Кастекский хр., субальпийский пояс, каменистый склон, 15.06.1955, З.М. Бызова. Вид отмечен на отмерших стеблях растений из различных семейств [14]; обычен в горах [3].

Pleospora coluteae (Goid.) Wehm. – на *Minuartia biflora* (L.) Schinz et Thell., горы Сюгаты, 02.06.1937, Г.С. Неводовский. В Казахстане обнаружен только один раз [14].

Pleospora curvasca Bubák (рис. 2а, 2б) – на *Artemisia absinthium* L., хр. Джунгарский Алатау, ущ. Текели, левый берег р. Текели, пойменный смешанный лес, 1795 м н. у. м., N44°47'30.1", E078°59'26.7", 15.06.2021, Ж. Айтымбет; на *A. dracuncululus* L., хр. Джунгарский Алатау, правый берег р. Коктал, пойменный лиственный лес, 1305 м н. у. м., N44°35'50.4", E078°58'45.2", 18.06.2021, Л.А. Кызметова; на

Astragalus flexus Fisch., территория г. Капчагай, правый берег р. Или, 19.05.1947, М.Н. Кузнецова; на *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., пойма р. Каскеленки, 20.05.1959, Б.К. Калымбетов; М.Н. Кузнецова; пески Моинкумы, 20.05.1959, Б.К. Калымбетов; на *Limonium myrianthum* (Schrenk) Kuntze, Сюгатинская долина, на солончаках, 18.09.1957, Б.К. Калымбетов; на *Patrinia intermedia* (Hornem.) Roem. et Schult., подъем на перевал Алтын-Эмель, заросли кустарников, 1584 м н. у. м., N44°12'39.0", E078°30'13.9", 18.06.2021, Л.А. Кызметова; хр. Джунгарский Алатау, ущ. Коксу, пойменный лес, 1306 м н. у. м., N44°40'59.9", E078°58'16.2", 18.06.2021, Ж. Айтымбет; на *Thermopsis alpina* (Pall.) Ledeb., хр. Заилийский Алатау, ур. Мынжилки, 10.08.1946, М.Н. Кузнецова. Этот вид с преобладанием аскоспор с тремя септами обычен для бобовых растений на Ближнем Востоке и в Средиземноморье [3].

Pleospora dianthi De Not. – на *Dianthus soongoricus* Schischk., горы Сюгаты, северо-западный склон, 25.05.1958, Б.К. Калымбетов.

Pleospora dichromotricha (Speg.) Wehm. – на *Alyssum turkestanicum* Regel et Schmalh. ssp. *Desertorum* (Stapf) Botsch., хр. Кунгей Алатау, южный склон, 3.07.1974, Г.А. Абдрахманова; на *Chondrilla* sp., хр. Турайгыр, 800 м н. у. м., 18.11.1957, Б.К. Калымбетов; на *Goniolimon speciosum* (L.) Boiss., пески Таукумы, 12.05.1965, М.П. Васягина; на *Helianthemum songaricum* Schrenk, хр. Джунгарский Алатау, р. Борохуд-



Рис. 2. *Pleospora curvasca* на *Patrinia intermedia*:
а – сумки с аскоспорами, шкала 10 мкм; б – аскоспоры, шкала 10 мкм

Fig. 2. *Pleospora curvasca* on *Patrinia intermedia*:
a – asci with ascospores, scale 10 μ m; b – ascospores, scale 10 μ m

зир, 9.06.1947, Б.И. Кравцев; на *Ikonnikovia kaufmanniana* (Regel) Lincz., горы Сюгаты, за падный склон, 2.06.1937, Г.С. Неводовский; на *Poa bulbosa* L., территория г. Капчагай, правый берег р. Или, 6.11.1947, М.Н. Кузнецова; на *Stipa* sp., пески Таукумы, 24.06.1973, Ф.И. Камалетдинова. Некоторые авторы [3] считают *Pleospora dichromotricha* сомнительным видом.

Pleospora discors (Durieu et Mont.) Ces. et De Not. – на *Carex songorica* Kar. et Kir., хр. Турайгыр, 900 м н. у. м., 18.09.1957, Б.К. Калымбетов; на *Carex* sp., горы Сюгаты, западный склон, 25.05.1958, Б.К. Калымбетов.

Pleospora graminearum Wehm. – на листьях *Anthoxanthum alpinum*, на стеблях *Carex griffithii* Boott, *Festuca coelestis* (St.-Yves) V.I. Krecz. et Bobrov, хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 3436 м н. у. м., N43°07'52.5", E77°30'25", 03.08.2005, [18]. Вид обнаружен в высокогорье, ранее в Казахстане не был отмечен [14].

Pleospora helvetica Niessl – на листьях и стеблях *Anthoxanthum alpinum*, хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 3436 м н. у. м., N43°07'52.5", E77°30'25", 03.08.2005, [18]; на *Aster alpinus* L., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 23.08.1945, М.Н. Кузнецова; на *Astragalus* sp., хр. Заилийский Алатау, прилавки, 12.05.1937, М. Прокопенко; на *Clematis songorica* Bunge, горы Сюгаты, сухие склоны, 14.07.1956, Б.К. Калымбетов; на *Potentilla* sp., хр. Заилийский Алатау, берег р. Малой Алматинки, 19.05.1937, М. Прокопенко; на *Oxytropis chionobia* Bunge, хр. Кунгей Алатау, пер. Саты, 25.07.1953, С.А. Арыстангалиев; на *O. Chionophylla* Schrenk, хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., ледник Туюксу, морена, 25.08.1947, М.Н. Кузнецова; на *Patrinia intermedia* (Hornem.) Roem. & Schult., правый берег р. Или, 2.08.1935, Г.С. Неводовский; на *Saussurea* sp., *Silene adenopetala* Raik., *Waldheimia tridactylites* Kar. et Kir., хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 3436 м н. у. м., N43°07'52.5", E77°30'25", 03.08.2005, [18]. Вид широко распространен в Казахстане на отмерших стеблях растений из различных семейств [14].

Pleospora hungarica (Moesz) Wehm. – на *Atraphaxis muschketowii* Krasn., хр. Заилийский Алатау, окрестности г. Талгар, 11.07.1956, Б.К. Калымбетов. Вид очень похож на *Pleospora moravica*, однако более стабилен по количеству септ в аскоспорах [3].

Pleospora intermedia Speg. – на *Chondrilla* sp., хр. Турайгыр, на дне ущелья, 800 м н. у. м., 18.09.1957, Б.К. Калымбетов; на *Eremostachys molucelloides* Bunge, хр. Алтын-Эмель, горы Орикты, безымянное ущ. с речкой, 1398 м н. у.

м., N44°11'23.5", E078°32'47.4", 28.05.2014, А.М. Асылбек; на *Thymus marschallianus* Willd., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 19.05.1937, М. Прокопенко. Аскоспоры *Pleospora intermedia* очень похожи на таковые *P. kansensis* (в Казахстане не обнаружен), однако они длиннее и имеют дополнительную септу [3].

Pleospora kravtzevii (Schwarzman) Byzova – на *Calligonum junceum* (Fisch. et C.A. Mey.) Litv., предгорная равнина хр. Кетмень, 15.04.1953, Б.И. Кравцев.

Pleospora lactucicola Ellis et Everh. – на *Alchemilla* sp., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., берег реки, 19.05.1937, М. Прокопенко; на *Ligularia macrophylla* (Ledeb.) DC., хр. Заилийский Алатау, Алматинский заповедник, 27.04.1937, Г.С. Неводовский.

Pleospora laricina Rehm – на *Artemisia* sp., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., Мохнатая сопка, 7.10.1965, Н.Т. Кажиева; на *Betula* sp., хр. Джунгарский Алатау, долина р. Коксу, 1444 м н. у. м., N44°43'15.3", E079°03'22.9", 10.07.2014, Г.А. Нам; на *Cotoneaster* sp., хр. Кетмень, ущ. Кыргызсай, 1667 м н. у. м., N43°17'83.7", E079°30'77.5", 12.09.2014, У.К. Джетигенова; на *Fraxinus sogdiana* Bunge, берег р. Чарын, 8.10.1941, Б.И. Кравцев. Вид предпочитает сухие ветви древесных растений [3].

Pleospora leptosphaerioides Sacc. et Therry – на *Thermopsis alpina*, хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 25.08.1947, М.Н. Кузнецова. В Казахстане обнаружен только один раз [14].

Pleospora longispora Speg. – на *Carex dimorphotheca* Stschegl., окрестности пос. Чилик, 21.05.1955, Б.К. Калымбетов; на *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., перевал Алтын-Эмель, заросли кустарников, 1584 м н. у. м., N44°12'39.0", E078°30'13.9", 18.06.2021, Л.А. Кызметова; на *Poa lipskyi* Roshev., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 2800 м н. у. м., 25.08.1947, В.С. Корнилова; на *Poa* sp., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 19.07.1938, В.П. Голоскоков; там же, Алматинский заповедник, 20.08.1982, З.М. Бызова; на *Rindera tetraspis* Pall., горы Большие Богуты, 1202 м н. у. м., N43°45'98.0", E078°88'06.3", 31.03.2019, Е.В. Рахимова. Некоторые авторы [3] считают, что *Pleospora longispora* обитает на однодольных растениях, однако на территории Казахстана вид встречается на сухих стеблях растений из различных семейств [14].

Pleospora magnusiana Berl. – на *Inula* sp., хр. Кунгей Алатау, северо-западный травянистый склон, 1800 м н. у. м., 12.06.2004, Б.Ж. Есенгулова; на *Nanophyton erinaceum* (Pall.) Bunge, хр. Кунгей Алатау, сухие каменистые склоны,

12.07.1895, Е.А. Кечуткина; на *Stipa caucasica* Schmalh., хр. Заилийский Алатау, верховья Тау-Чилика, ур. Тусанды, 3300 м н. у. м., 16.08.1944, В.П. Голоскоков; на *Stipagrostis pennata* (Trin.) De Winter, бугристые пески между Бакбакты и Баканасом, 26.06.1957, Б.К. Калымбетов.

Pleospora martianoffiana Thüm. – на *Clematis songarica* Bunge, горы Сюгаты, сухие каменистые склоны, 13.07.1956, Б.К. Калымбетов; хр. Турайгыр, 1500 м н. у. м., 18.09.1957, Б.К. Калымбетов.

Pleospora mollis Starbäck – на *Ephedra intermedia* Schrenk & С.А. Меу., по дороге на Баканас, 3.06.1959, Н.М. Филимонова; на *Ephedra* sp., пески Таукумы, 9.05.1965, М.П. Васягина.

Pleospora moravica (Petr.) Wehm. – на *Atraphaxis pyrifolia* Bunge, горы Сюгаты, ущ. Кокпек, боковое северное каньонообразное ответвление, 1047 м н. у. м., N43°29'23.1", E078°38'08.6", 23.05.2018, Е.В. Рахимова; на *A. muschketowii*, хр. Заилийский Алатау, Глубокая щель, 13.06.1946, М.Н. Кузнецова. Считается, что описываемый вид распространен в Алжире и Моравии [3], однако морфологические признаки обнаруженных нами образцов полностью соотносятся с таковыми для *Pleospora moravica*.

Pleospora njeagusensis Bubák (рис. 3, 4) – на *Ferula* sp., горы Сюгаты, ущюлье севернее ущ. Кокпек, 1409 м н. у. м., N43°29'10.7", E078°40'18.4", 04.05.2018, Е.В. Рахимова; на *Gentiana kaufmanniana*, хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 25.08.1942, М.Н. Кузнецова.

Pleospora orbicularis Auersw. – на *Atraphaxis muschketowii*, хр. Заилийский Алатау, окрестности г. Талгара, ур. Ближний, 3.07.1957, Н.Ф. Писарева; на *Berberis sphaerocarpa* Kar. et Kir., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 14.06.1964, Н.Ф. Писарева; на *Callianthemum alatavicum* Freyn, хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., ледник Туюксу, 25.08.1947, М.Н. Кузнецова; на *Dracosephalum integrifolium* Bunge, горы Сюгаты, 2.06.1937, Г.С. Неводовский; на *Seseli libanotis* (L.) W.D.J. Koch, хр. Кунгей Алатау, ущ. Узун-Булак, 19.07.1956, Б.К. Калымбетов; на *Ziziphora clinopodioides* Lam., горы Катутау, 20.09.1957, Б.К. Калымбетов. Вид обитает обычно на сухих ветвях барбариса, но может встречаться и на сухих стеблях других растений [3].

Pleospora pellita (Fr.) Rab. – на *Nepeta kokamirica* Regel, хр. Кетмень, 2100 м н. у. м., северо-западный склон, 22.06.1958, Б.К. Калымбетов. Гриб встречается на стеблях различных растений, особенно часто отмечен на *Papaver* L. [3].

Pleospora penicillus Fuckel – на *Dianthus soongoricus*, горы Сюгаты, у ручья, 25.05.1958,

Б.К. Калымбетов. Вид обитает на сухих стеблях растений из различных семейств [3], в Казахстане отмечен только на представителях родов *Dianthus* L. и *Viburnum* L. [14].

Pleospora phaeocomoides (Sacc.) G. Winter – на *Acroptilon repens* (L.) DC., хр. Малайсары, горы Архарлы, на пер. Архарлы, боковое ущ. с ивами и родником, 1068 м н. у. м., N44°14'11.8", E077°42'51.0", 16.06.2022, Е.В. Рахимова; на *Ajania fastigiata* (C. Winkl.) Poljakov, отроги хр. Джунгарский Алатау, северные склоны хр. Алтын Эмель, ущ. Кыскысай, т. 18, 1653 м н. у. м., N44°19'75.7", E78°36'75.7", 19.06.2022, Л.А. Кызметова; на *Artemisia vulgaris* L., хр. Заилийский Алатау, Алматинский заповедник, 27.06.1937, Г.С. Неводовский; на *Astragalus brachypus* Schrenk, пески Таукумы, 28.10.1965, Л.Я. Курочкина; на *Heracleum dissectum* Ledeb., хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 20.08.1968, Н.Т. Кажиева; на *Seseli* sp., территория г. Капчагай, правый берег р. Или, 20.06.1957, Б.К. Калымбетов. Один из самых широко распространенных видов, обитает на сухих стеблях растений из различных семейств [3].

Pleospora pleosphaerioides Wehm. – на *Draba oreades* Schrenk, хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 10.08.1946, М.Н. Кузнецова; на *Lonicera* sp., хр. Заилийский Алатау, окрестности с. Чилик, 15.07.1948, С.Р. Шварцман. Некоторые морфологические признаки вида сходны с таковыми у представителей рода *Pleosphaeria* Speg. [3].

Pleospora primulae Crivelli – на старых листьях *Primula nivalis* Pall., хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 3436 м н. у. м., N43°07'52.5", E77°30'25", 03.08.2005, [18].

Pleospora punctata Wehm. – на *Astragalus lithophilus* Kar. et Kir., хр. Заилийский Алатау, ущ. Иссык, 22.08.1938, В.П. Голоскоков; на *Chondrilla* sp., хр. Джунгарский Алатау, правый берег р. Коктал, пойменный лиственный лес, 1305 м н. у. м., N44°35'50.4", E078°58'45.2", 18.06.2021, Л.А. Кызметова; на *Pulsatilla campanella* Fisch., хр. Турайгыр, на дне ущ., 800 м н. у. м., 18.11.1957, Б.К. Калымбетов. Аскоспоры *Pleospora punctata* похожи на таковые *P. Herbarum*, однако они более суженные [3].

Pleospora richtophensis Ellis et Everh. – на *Artemisia juncea* Kar. et Kir., горы Сюгаты, сухие каменистые склоны, 22.07.1957, Б.К. Калымбетов; на *Waldheimia tridactylites*, хр. Заилийский Алатау, Малое Алматинское ущ., 20.06.1945, М.Н. Кузнецова. Вид характеризуется слегка согнутыми аскоспорами и обитает преимущественно в горных местностях [3].

Pleospora rudis Berl. (рис. 5–7) – на *Acanthophyllum borschowii* Litv., пески Таукумы, стационар, 20.06.1973, Ф.И. Камалетдинова; на *Astragalus balchaschensis* Sumnev., по дороге на Баканас, 1.06.1981, З.М. Бызова; на *Astragalus* sp., пески Сары-Таукумы, 5.05.1965, М.П. Васягина; на *Buglossoides tenuiflora* (L. f.) I.M. Johnst., хр. Заилийский Алатау, ущ. Чин-Тургень, 10.07.1983, М.П. Васягина; на *Dodartia orientalis* L., хр. Джунгарский Алатау, дорога от ст. Коктума до с. Кабанбай, ущ. притока р. Жаманты,

возле заброшенного сада, 1262 м н. у. м., N45°45'53.5", E81°21'10.1", 19.07.2022, Е.В. Рахимова; на *Gypsophila* sp., Саркандский р-н, берег оз. Балхаш, бугристые полузакрепленные пески, т. 492, 335 м н. у. м., N46°21'35.8", E78°52'41.1", 8.08.2022, Е.В. Рахимова; на *Halimodendron halodendron* (Pall.) Voss, хр. Малайсары, ущ. Копалытау, 1146 м н. у. м., N44°34'07.7", E77°56'46.6", 23.07.2016, С.Б. Нурашов; на *Heliotropium arguzioides* Kar. & Kir., бугристые пески между Бахбахты и Бака-



Рис. 3. *Pleospora njegusensis* на *Ferula* sp.

Fig. 3. *Pleospora njegusensis* on *Ferula* sp.

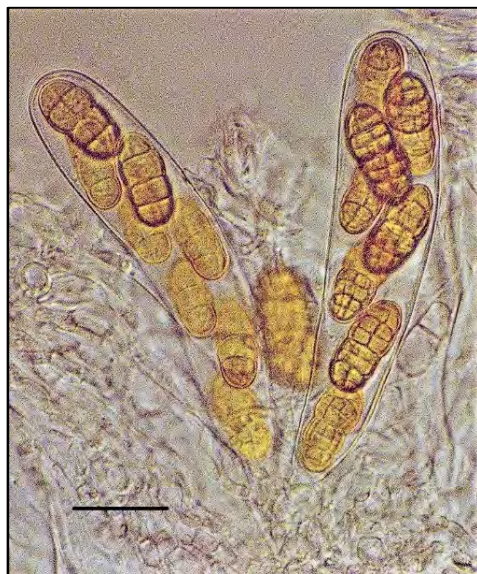


Рис. 4. Сумки с аскоспорами *Pleospora njegusensis* на *Ferula* sp., шкала 10 мкм

Fig. 4. Asci with *Pleospora njegusensis* ascospores on *Ferula* sp., scale 10 µm



Рис. 5. *Pleospora rudis* на *Dodartia orientalis*

Fig. 5. *Pleospora rudis* on *Dodartia orientalis*



Рис. 6. Перитеций *P. rudis* на *Dodartia orientalis*, шкала 10 мкм

Fig. 6. Perithecium *P. rudis* on *Dodartia orientalis*, scale 10 µm



Рис. 7. Сумки с аскоспорами шкала 10 мкм *P. rudis* на *Dodartia orientalis*, шкала 10 мкм

Fig. 7. Bags with ascospores *P. rudis* on *Dodartia orientalis*, scale 10 µm

насом, 27.05.1957, Б.К. Калымбетов; на *Neotri-
nia splendens* (Trin.) M. Nobis, P. Gudkova et A.
Nowak, хр. Малайсары, горы Архарлы, ущ. на
северо-восток от пос. Самен, 952 м н. у. м.,
N44°14'36.6", E077°39'20.1", 01.06.2017, Е.В.
Рахимова; на *Polygala hybrida* DC., пески Сары-
ишикотрау, 2.06.1981, З.М. Бызова; на остатках
травянистого растения, окрестности пос. Мало-
водного, 28.07.1936, Г.С. Неволовский. Этот вид
с преобладанием аскоспор с четырьмя септами
встречается на растениях из различных се-
мейств на территории Ближнего Востока [3].

Pleospora tomentosa Wehm. – на *Ziziphora cli-
nopodioides*, хр. Кунгей Алатау, ущ. Джаланаш,
21.07.1956, Б.К. Калымбетов. Вид характеризу-
ется войлочными (опушенными) плодовыми
телами [3].

Pleospora tragacanthae Rabenh. – на *Cousinia*
sp., горы Сюгаты, 03.06.1937, Г.С. Неволовский.
Вид обитает на сухих стеблях растений из раз-
личных семейств [3], в юго-восточном Казахста-
не отмечен только на представителях родов
Cousinia Cass. [14].

Pleospora turkestanica Rehm – на *Calamagros-
tis epigeios* (L.) Roth, хр. Заилийский Алатау, ущ.
Малый Кемин, Актюз, 2500 м н. у. м.,
07.09.1957, Б.К. Калымбетов; на *Stipa kirghiso-
rum*, горы Сюгаты, в 30 км от с. Чилик, камени-
стый склон, 14.07.1956, Б.К. Калымбетов.

Pleospora uniserialis Wehm. – на *Trifolium*
pratense L., окрестности г. Талгар, 17.07.1969,
З.М. Бызова.

Pleospora valesiaca (Niessl) E. Müll. – на *Aca-
ntholimon alatavicum* Bunge, северный макро-
склон хр. Малайсары, южнее пос. Казалы, пере-
вал, 1322 м н. у. м., N44°21'00.5", E077°07'28.7",
23.07.2016, Е.В. Рахимова; на *Ikonnikovia kauf-
manniana*, горы Сюгаты, северный склон,
26.06.1958, Б.К. Калымбетов.

Приведенный список рода *Pleospora* включа-
ет 42 вида, паразитирующих на 89 видах расте-
ний-хозяев из 71 рода. 4 вида привлечены из ли-
тературных данных А. Chlebicki [18], обследо-
вавшего высокогорье Заилийского Алатау. Вид
Pleospora amphoricarpi (Bubák) Wehm. на *Tulipa*
sp. обнаружен впервые на территории юго-вос-
тока Казахстана. Необходимо отметить, что на
территории сопредельного Кыргызстана обна-
ружено всего 27 видов рода *Pleospora* [20, 21].
По-видимому, разнообразие природных условий
на территории юго-востока Казахстана приво-
дит к богатому биоразнообразию. Так, на терри-
тории Украины отмечено всего 11 представите-
лей рода *Pleospora* [22], в Белорусско-Валдай-
ском Поозерье – 3 вида [23].

Анализируя распределение видов рода *Pleospo-
ra* по семействам растений-хозяев (рис. 8), не-
обходимо отметить, что максимальное коли-
чество видов отмечено на семействах Asteraceae
Bercht. et J.Presl (12), Poaceae Barnhart (11) и Fa-
baceae Lindl. (10). На семействах Cyperaceae
Juss, Apiaceae Lindl., Rosaceae Juss, Ranuncula-
ceae Juss, Polygonaceae Juss, Plumbaginaceae
Juss, Lamiaceae Martinov, Chenopodiaceae Bur-
nett, Caryophyllaceae Juss обнаружено от 3 до 7
видов *Pleospora*. Представители остальных 16
семейств являются хозяевами для 1–2 видов пле-
оспоры. Наибольшее количество хозяев отмече-
но для *Pleospora helvetica* (11 видов высших
растений), *P. rudis* (10 видов), *P. chlamydospora*
(9), *P. curvasca* (7 видов).

В качестве растения-хозяина впервые отме-
чены 20 видов сосудистых растений: *Malva thu-
ringiaca*, *Silene* sp., *Salvia deserta*, *Ziziphora cli-
nopodioides* для *Pleospora chlamydospora*; *Astra-
galus* sp., для *Pleospora amelanchieris*; *Artemisia*
absinthium, *A. dracunculus*, *Patrinia intermedia*
для *Pleospora curvasca*; *Eremostachys molucelloi-
des* для *Pleospora intermedia*; *Cotoneaster* sp. для
Pleospora laricina; *Heteropappus altaicus*, *Rinde-
ra tetraspis* для *Pleospora longispora*; *Atraphaxis*
pyrifolia для *Pleospora moravica*; *Ferula* sp. для
Pleospora njegusensis; *Acroptilon repens*, *Ajania*
fastigiata для *Pleospora phaeocotoides*; *Chondril-
la* sp. для *Pleospora punctata*; *Dodartia orientalis*,
Gypsophila sp., *Halimodendron halodendron* для
Pleospora rudis.

Три вида растений, занесенных в Красную
книгу Казахстана [24], отмечены в качестве хо-
зяев для грибов рода *Pleospora*, причем, на *Atra-
phaxis muschketowii* обнаружено 3 вида, на *Ikonn-
ikovia kaufmanniana* – 2 вида, на *Fraxinus sogdi-
ana* – один вид.

Наибольшее количество видов рода *Pleospo-
ra* характерно для хребта Заилийский Алатау –
24 вида, что составляет 28% от общего числа
видов плеоспоры на территории юго-востока
Казахстана (рис. 9), и для гор Сюгаты – 18 ви-
дов, что составляет 21% от общего числа. На
территории хребтов Кунгей Алатау, Турайгыр,
Джунгарский Алатау и в пустынях обнаружено
от 5 до 10 видов *Pleospora*. Для остальных лока-
ций характерны 1–3 вида. Необходимо отме-
тить, что еще сравнительно недавно на террито-
рии гор Сюгаты, Богуты и хребта Кетмень обна-
ружено всего по 2 вида рода *Pleospora*, на тер-
ритории хребта Малайсары – 7 видов [19]; в то
время как для сопредельных Чу-Илийских гор
характерно – 18 видов, а для Алтая (включая
хребты Тарбагатай, Саур, Манрак) – 9 видов [25].

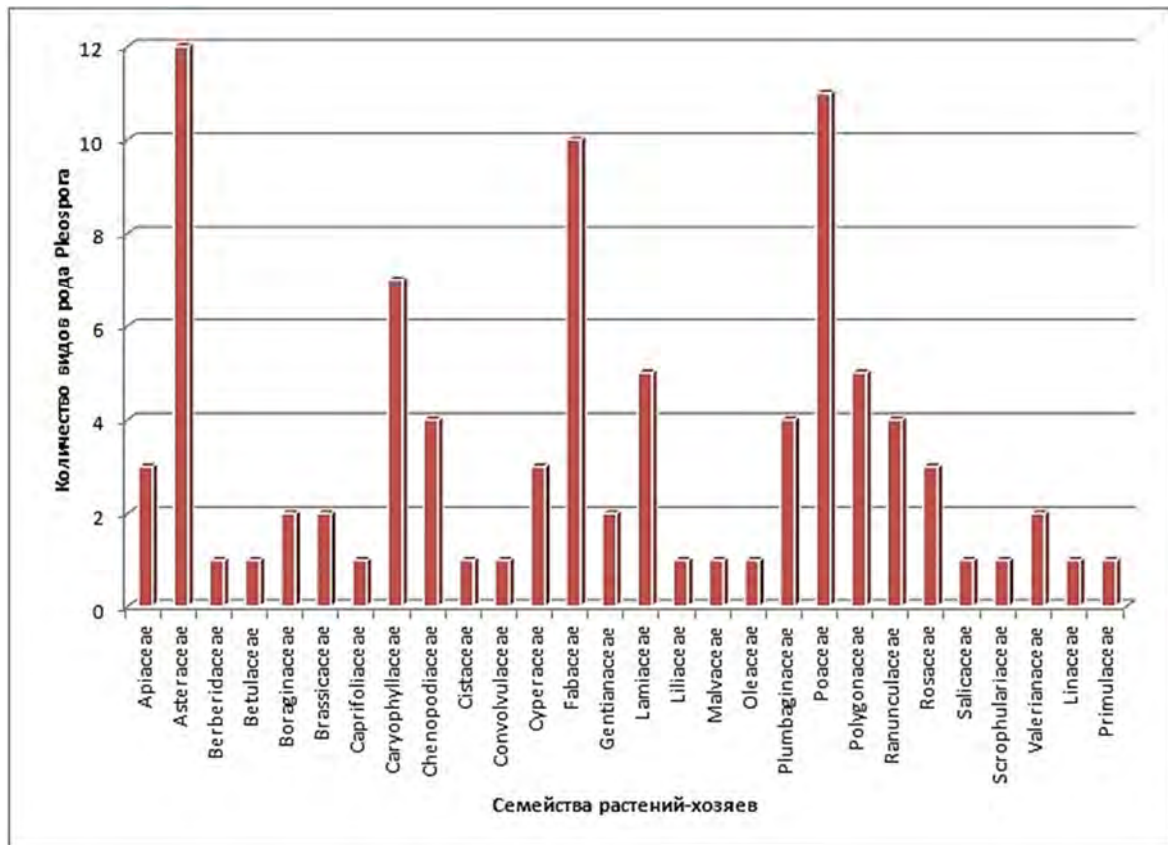


Рис. 8. Распределение видов рода *Pleospora* по семействам растений-хозяев

Fig. 8. Distribution of species of the genus *Pleospora* by families of host plants

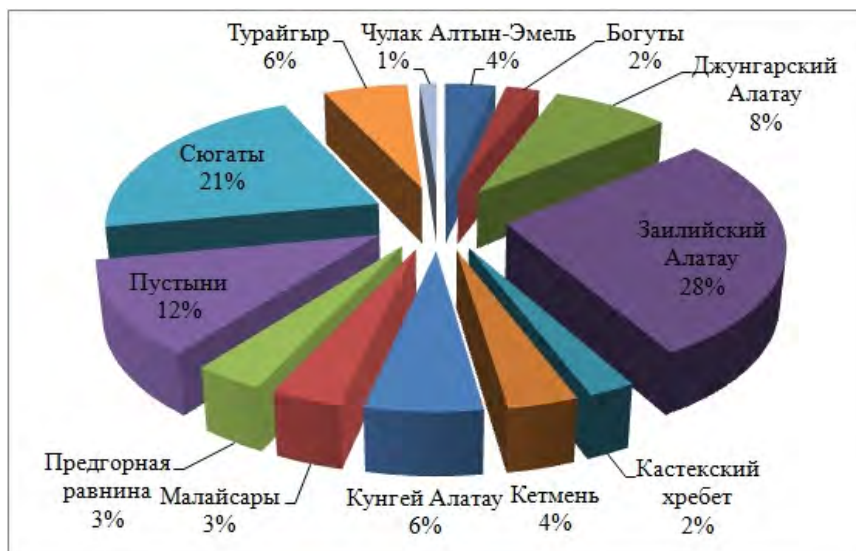


Рис. 9. Распределение видов рода *Pleospora* по территории юго-востока Казахстана

Fig. 9. Distribution of species of the genus *Pleospora* in the territory of the southeast of Kazakhstan

Что касается отдельных видов, то на территории юго-востока Казахстана наиболее широко распространены 4 вида: *Pleospora rudis*, *P. chlamydospora*, *P. curvasca* и *P. helvetica*. Для *P. rudis* отмечено 11 местонахождений, для *P. chlamydospora* – 10, для *P. curvasca* и *P. helvetica* – по 8 местонахождений.

Максимальное разнообразие видов рода *Pleospora* приурочено к высотам 900–1100 м (16 видов) и 700–900 м над ур. моря (11 видов) (рис. 10), что соответствует поясам степей и предгорных пустынь [26].

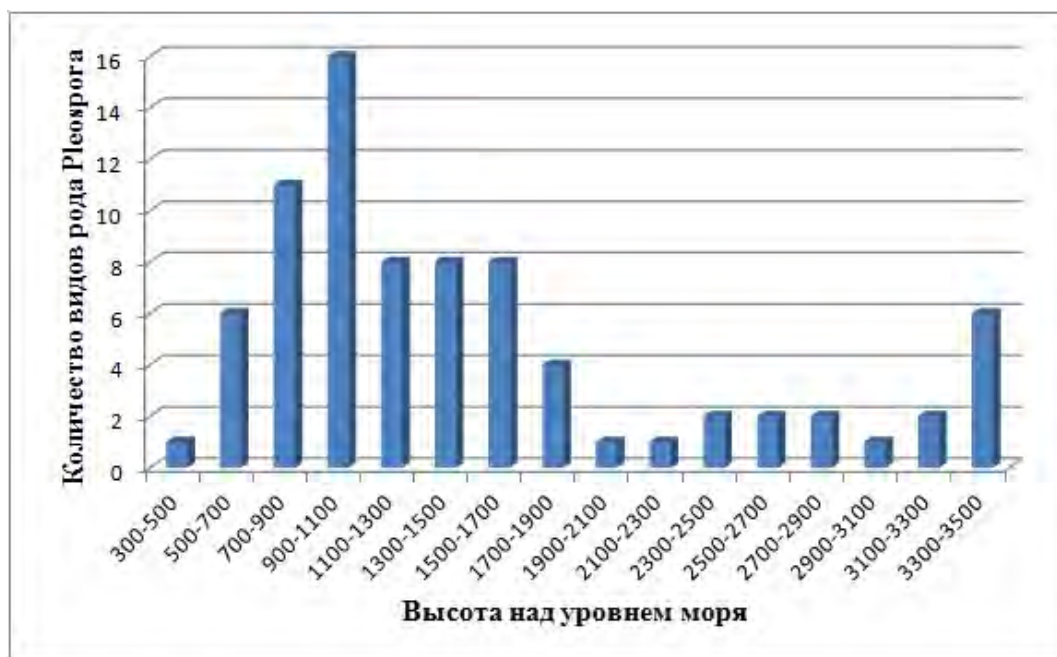


Рис. 10. Распределение видов рода *Pleospora* по высоте над уровнем моря, м

Fig. 10. Distribution of species of the genus *Pleospora* by altitude, m

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приводится аннотированный алфавитный список 42 видов рода *Pleospora*, обитающих на 89 видах растений-хозяев из 71 рода. Вид *Pleospora amphoricarpi* (Bubák) Wehm. на *Tulipa* sp. обнаружен впервые на территории юго-востока Казахстана. Максимальное количество видов рода *Pleospora* отмечено на семействах Asteraceae (12), Poaceae (11) и Fabaceae (10). В качестве растения-хозяина впервые отмечены 20 видов сосудистых растений. На растениях, занесенных в Красную книгу Казахстана, обнаружено 6 видов. Наибольшее разно-

образие видов рода *Pleospora* характерно для хребта Заилийский Алатау – 24 вида, что составляет 28% от общего числа видов плеоспоры на территории юго-востока Казахстана. Четыре вида: *Pleospora rudis* Berl., *P. chlamydospora* Sacc., *P. curvasca* Bubák и *P. helvetica* Niessl наиболее широко распространены на территории юго-востока Казахстана. Максимальное разнообразие видов рода *Pleospora* приурочено к высотам 900–1100 м (16 видов) и 700–900 м над ур. моря (11), что соответствует поясам степей и предгорных пустынь.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке научно-технической программы «Кадастровая оценка современного экологического состояния флоры и растительных ресурсов Алматинской области как научная основа для эффективного управления ресурсным потенциалом» (BR10264557).

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhang, Y. Multi-locus phylogeny of Pleosporales: a taxonomic, ecological and evolutionary re-evaluation / Y. Zhang [et al.] // *Studies in Mycology*. – 2009. – № 64. – P. 85–102. DOI: 10.3114/sim.2009.64.04
2. Kirk, P. M. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi: 10th edn. Cannon / P. M. Kirk, P. M. Minter, J. A. Stalpers. – CABI, Wallingford, 2008. – 782 p.
3. Wehmeyer, L. E. A world monograph of the genus *Pleospora* and its segregates / L. E. Wehmeyer. – Ann Arbor: University of Michigan Press, 1961. – 451 p.
4. Hafellner, J. A lichenicolous species of *Pleospora* (Ascomycota) and a key to the fungi invading *Physcia* species. / J. Hafellner, E. Zimmermann // *Herzogia*. – 2012. – № 25. – P. 47–59. DOI:10.13158/hea.25.1.2010.47
5. Khodosovtsev, A. Y. *Pleospora xanthoriae* sp. nov. (Pleosporaceae, Pleosporales), a new lichenicolous fungus on *Xanthoria parietina* from Ukraine, with a key to the known lichenicolous species of *Dacampia* and *Pleospora* / A. Y.

Khodosovtsev, V. V. Darmostuk // *Opuscula Philolichenum*. – 2016. – № 15. – P. 6–11. <http://sweetgum.nybg.org/philolichenum/>.

6. Berbee, M. L. Loculoascomycete origins and evolution of filamentous ascomycete morphology based on 18S rRNA gene sequence data / M. L. Berbee // *Mol Biol Evol*. – 1996. – № 13(3). – P. 462–470. DOI: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a025607.

7. Kodsueb, R. The family Pleosporaceae: intergeneric relationships and phylogenetic perspectives based on sequence analyses of partial 28S rDNA / R. Kodsueb [et al.] // *Mycologia*. – 2006. – № 98(4). – P. 571–583. DOI: 10.1080/15572536.2006.11832660.

8. Бабушкина, И. Н. Таксономическое положение некоторых видов рода *Pleospora* Rab. / И. Н. Бабушкина // *Микология и фитопатология*. – 1991. – № 25 (4). – С. 273–279.

9. Shoemaker, R. A. Type studies of *Pleospora calvescens*, *Pleospora papaveracea*, and some allied species / R. A. Shoemaker // *Canadian Journal of Botany*. – 2011. – № 46(9). – P. 1143–1150. DOI: 10.1139/b68-151.

10. Ariyawansa, H. A. Towards a natural classification and backbone tree for Pleosporaceae / H. A. Ariyawansa [et al.] // *Fungal Diversity*. – 2015. – № 71(1). – P. 85–139. DOI: 10.1007/s13225-015-0323-z.

11. Zhang, Y. Pleosporales / Y. Zhang [et al.] // *Fungal Diversity*. – 2012. – № 53. – P. 1–221. DOI: 10.1007/s13225-011-0117-x.

12. Bugbee, W. M. *Pleospora bjoerlingii* in the USA / W. M. Bugbee // *Phytopathology*. – 1979. – № 69. – P. 277–278.

13. Поликсенова, В. Д. Методические указания к занятиям спецпрактикума по разделу: «Микология. Методы экспериментального изучения микроскопических грибов» / В. Д. Поликсенова, А. К. Храпцов, С. Г. Пискун. – Минск: Изд-во БГУ, 2004. – 36 с.

14. Вазягина, М. П. Флора споровых растений Казахстана. Сумчатые грибы / М. П. Вазягина, З. М. Вызова, М. А. Тартенова. – Т. 12. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 297 с.

15. Index Fungorum Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.indexfungorum.org/>. – Дата доступа: 03.03.2023.

16. MycoBank. Fungal Databases, Nomenclature & Species Banks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mycobank.org/>. – Дата доступа: 03.03.2023.

17. Catalogue of Life [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.catalogueoflife.org/>. – Дата доступа: 03.03.2023.

18. Chlebicki, A. Fungi on higher plants of the upper limit of alpine zone in Tian Shan / A. Chlebicki // *Mycotaxon*. – 2010. – № 110. – P. 451–454.

19. Разнообразие грибов пустынных низкогорий юго-востока Казахстана и хребта Кетмень / Е. В. Рахимова [и др.]. – Алматы: Luxe Media, 2017. – 300 с.

20. Кадастр генетического фонда Кыргызстана / Том I. Грибы и растения. Часть 1. Грибы. Часть 2. Растения / гл. ред. Э. Дж. Шукуров. – Биолого-почвенный институт НАН КР: ЭДК «Алейне», ЭД «БИОМ». – Бишкек, 2015. – 368 с.

21. Домашова, А. А. Микрофлора хребта Терской Ала-Тоо Киргизской ССР / отв. редактор Л. И. Попова. – Изд. АН Киргизской ССР: Фрунзе, 1960. – 242 с.

22. Fungi of Ukraine. A preliminary checklist / Eds. D. W. Minter, I. O. Dudka. – Egham, UK: CAB International, 1996. – 361 p.

23. Микобиота Белорусско-Валдайского поозерья / отв. ред. проф. А. Е. Коваленко. М. – СПб: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 368 с.

24. Красная книга Казахстана / Том 2. Часть 1 / Изд. 2-е, перераб. и доп. – Астана, 2014. – 452 с.

25. Грибы Казахстана (конспект видов) / Г. А. Нам [и др.]. – Алматы: «Интеллект», 2011. – 298 с.

26. Botanical geography of Kazakhstan and Central Asia (within the desert region) / (edited by E. I. Rachkovskaya, E. A. Volkova, V. N. Khramtsov). – St. Petersburg, 2003. – 424 p.

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

УДК 595.782 : 632.782 (476-21)

Н. В. СИНЧУК, С. В. БУГА

**ХАРАКТЕР ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК
ТОПОЛЯ БЕРЛИНСКОГО (*POPULUS X BEROLINENSIS* DIPP.)
ЛИЧИНКАМИ ТОПОЛЕВОЙ МОЛИ-ПЕСТРЯНКИ
(*PHYLLONORYCTER POPULIFOLIELLA*) В ГОРОДАХ ВИТЕБСК И МИНСК**

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: n.v.sinchuk@gmail.com, sergey.buga@gmail.com*

Аннотация. Выполнены исследования поврежденности листовых пластинок тополя берлинского *Populus x berolinensis* Dippel. в зеленых насаждениях городов Витебска и Минска тополевой молью-пестрянкой *Phyllonorycter populifoliella* по окончании развития ее личинок второй генерации. Общая относительная площадь поврежденной листовой поверхности тополя берлинского в зеленых насаждениях г. Витебска достигала 32,18%, г. Минска – 96,62%. Поврежденность верхней стороны листовых пластинок модельных растений *P. x berolinensis* в Витебске составляла 12,63%, нижней стороны – 32,18%; в Минске – 23,37% и 96,62%, соответственно. Для отдельных экземпляров тополя берлинского отмечены статистически значимые различия ($p < 0,05$) поврежденности нижней и верхней сторон листовых пластинок, а также среднего числа мин на них в зависимости от местопроизрастания деревьев.

Ключевые слова: тополь берлинский, зеленые насаждения, минирующие моли, вредители декоративных растений, количество и площадь листовых мин.

N. V. SINCHUK, S. V. BUGA

**NATURE OF THE DAMAGE TO THE LEAF BLADES
OF *POPULUS X BEROLINENSIS* DIPP. BY THE LARVAE OF POPLAR
MOTH *PHYLLONORYCTER POPULIFOLIELLA* IN VITEBSK AND MINSK**

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: n.v.sinchuk@gmail.com, sergey.buga@gmail.com

Annotation. The damage to the leaf blades of Berlin poplar *Populus x berolinensis* Dippel. in Vitebsk and Minsk by the larvae of poplar moth *Phyllonorycter populifoliella* at the end of the second-generation development were carried out. The total relative area of the damaged leaf blades of Berlin poplar in Vitebsk was 32,18%, in Minsk – 96,62%. The relative area of the damaged upper side of the leaf blades in Vitebsk was 12,63%, of the damaged lower side – 32,18%, in Minsk – 23,37%, and 96,62%, accordingly. Statistically significant differences ($p < 0,05$) in the damage to the lower and upper sides of the leaf blades, as well as the average number of mines on them, were noted. Statistically significant differences in the considered indicators for individual specimens of the Berlin poplar in different localities were revealed

Keywords: Berlin poplar, green stands, mining moths, pests of ornamental plants, the number and area of leaf mines.

ВВЕДЕНИЕ

Представители рода *Populus* L. широко распространены в Северном полушарии. К числу дикорастущих в условиях Беларуси принадлежат произрастающие в лесах и в поймах рек осина, или тополь дрожащий (*P. tremula* L.), осокорь, или тополь черный (*P. nigra* L.), а также тополь белый, или серебристый (*P. alba* L.) [1, 2].

Начало широкой интродукции тополей в Беларуси относится ко второй половине XIX в. – началу XX в., когда в посадках начали использоваться новые, ранее не вводившиеся в насажде-

ния древесные породы, среди которых были и тополя [3]. Легкость вегетативного размножения, неприхотливость и высокая скорость роста обеспечили их популярность как декоративных и технических культур, они широко использовались при создании зеленых насаждений населенных пунктов, ветрозащитных лесополос вдоль транспортных путей и т.п. Древесина тополя используется в производстве фанеры, пиломатериалов, целлюлозы и в качестве топлива [4]. К началу нынешнего столетия в Беларуси в куль-

туру было введено 17 видов, 2 формы и 23 гибрида тополей [2].

Для ряда видов и гибридов тополей отмечается более продолжительный рост в течении вегетационного периода, а также поздняя дефолиация осенью, благодаря чему они дольше сохраняют декоративность в зеленых насаждениях населенных пунктов. Облиственные кроны способствуют очищению воздуха, в том числе за счет клейкой поверхности или опушенности листовых пластинок [5].

Однако широкое использование тополей в декоративных посадках ограничено низкой устойчивостью к вредителям и инфекционным заболеваниям. Вспышки массового размножения вредителей и эпифитотии могут катастрофически снижать эстетическую и санитарно-гигиеническую ценность насаждений. Круг бактериальных и грибных патогенов, листогрызущих и сосущих фитофагов тополя обширен, – более 500 видов [6].

Среди листовых фитофагов-минеров высоким уровнем вредоносности отличается тополевая моль-пестрянка (*Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke, 1833)), гусеницы которой уже на первой генерации повреждают до 71% нижней стороны листовой поверхности тополей [7]. Условия высокой антропогенной нагрузки способствуют вспышкам массового размножения листовых минеров и формированию популяционных группировок с высокой плотностью этих фи-

тофагов. Интенсивность повреждения тополей вредителями находится в зависимости от степени ослабления растений под воздействием ряда факторов сред [8], в результате чего существенно снижается декоративность тополей в посадках, происходит преждевременная частичная дефолиация кроны, которая отмечается в Беларуси уже в конце июня – в начале июля, с завершением развития личинок первого поколения *Ph. populifoliella* [9].

Populus x berolinensis Dippel. – естественный межсекционный гибрид *P. laurifolia* Ledeb. x *P. nigra* L. var. *Italica*, случайным образом полученный в Ботаническом саду Берлина приблизительно в 1865 г. [10, 11]. Время интродукции в Беларусь точно не установлено [12]. Гибрид быстрорастущий, цветет, но не плодоносит. Имеет прямой ствол, правильную широкопирамидальную крону. Обладает хорошей морозостойкостью, неприхотлив к условиям произрастания, загазованность не оказывает значительного влияния на рост и фитосанитарное состояние. Декоративность высока за счет красивой густой пирамидальной кроны и темно-зеленой окраски листы [13].

Целью исследования являлся анализ общего уровня поврежденности листовых пластинок тополя берлинского тополевой молью-пестрянкой в зеленых насаждениях городов Витебска и Минска по окончании развития личинок второй генерации.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки поврежденности листовой поверхности по завершении периода развития личинок второй генерации тополевой моли-пестрянки *Ph. populifoliella* в сентябре 2021 г. был произведен отбор выборок листовых пластинок с экземпляров *P. x berolinensis*, произрастающих в г. Витебске:

– во дворе жилого комплекса (Московский проспект, 13; 55.181017 30.209196, *P. x berolinensis*, В№ 1), который имеет следующие характеристики: открытое прогреваемое солнцем пространство, вблизи жилых построек, имеются асфальтированные дорожки, асфальтированные парковочные места под деревом и рядом с ним, газон и свободные земельные участки. Дерево произрастает обособленно от других насаждений, проявляет полноценный рост, имеет зеленую и обильную листву, однако имеются признаки стресса, такие как увядание и небольшое пожелтение листы. Дерево подвержено воздействию тли.

– в парке Фрунзе (55.19599 30.207771, В№ 2), место произрастания тополя характеризуется близким расположением к воде (2 метра),

произрастает в низине, место прогревается солнцем, имеется асфальтированная дорожка и мостик через речку. Дерево произрастает рядом с различными древесными культурами, среди которых в том числе и тополя. Дерево имеет зеленую и обильную листву, множество побегов, однако повреждается различными насекомыми, грибными и бактериальными патогенами.

– в парке Фрунзе (55.19599 30.207771, В№ 3). Тополь произрастает на берегу речки, до воды расстояние составляет приблизительно 6 метров, место находится в низине, под исследуемым экземпляром расположена асфальтированная площадка с лавочками для отдыха, над которой присутствует участок исследуемой кроны, также имеется асфальтированная дорожка. Дерево произрастает рядом с различными древесными и кустарниковыми культурами, среди которых есть тополя. Дерево имеет зеленую, но не обильную листву, отсутствуют побеги, имеются признаки стресса, такие как увядание и пожелтение листы, также экземпляр повреждается различными насекомыми, грибными и бактериальными патогенами.

В г. Минске в качестве модельных объектов были выбраны тополя, произрастающие:

– во дворе жилого комплекса по ул. Буденного (53.88419 27.61413, М№ 1): дворовая низина, пространство изолировано с трех сторон, в паре метрах от жилых построек, имеются асфальтированные дорожки и ступеньки, рядом проходит дорога. Дерево произрастает рядом с другими насаждениями, имеются признаки стресса – увядание и небольшое пожелтение листвы. Дерево повреждено различной природы патогенам.

– в небольшой тополевой аллее по ул. Заводская (53.888595 27.585398, М№ 2): открытое пространство, хорошо прогреваемое солнцем и продуваемое, рядом имеются небольшие постройки – детские садики и дворовые площадки, имеется асфальтированная дорожка. Дерево произрастает в тополевой аллее, дерево подвергается обрезке кроны и побегов, имеет обильную листву, однако имеются признаки стресса, такие как увядание и пожелтение листвы.

– возле стадиона «Трактор» (53.880296 27.616582, М№ 3): открытая территория в лесопарке стадиона, прогреваемая солнцем и продуваемая территория, рядом имеется большая асфальтированная площадка. Исследуемый экземпляр произрастает рядом с тополями и другими насаждениями, образующие тень, имеет множество побегов, обильную листву и молодой подрост, очевидных признаков стресса не было установлено.

Отбор выборок листвы проводился случайным образом (рандомизированно) с нижней части крон. Листовые пластинки – от 30 листьев с каждого исследуемого растения собирали в фасовочные полиэтиленовые пакеты типа Zip-Lock (для исключения потери влаги), туда же клали рабочую (временную) этикетку, на которой указывали таксон растения, дату и место сбора, степень заселенности, ФИО коллектора [14]. Для сохранения минированных личинками *Ph. populifoliella* листовых пластинок в пригодном для дальнейшей камеральной обработки состоянии, материал закладывали в течение суток после сбора в гербарный пресс с использованием газетной бумаги в качестве переслаивающего материала. Для ускорения высушивания и во избежание потемнения листьев, листовые пластинки проглаживали умеренно горячим (70°C) утюгом, при этом их укладывали между газетными листами с целью избегания травматизации листьев и мин (это особенно целесообразно для подготовки материала, собранного с августа по сентябрь в период развития личинок второй генерации тополевой моли-пестрянки).

Монтирование гербарных сборов осуществлялось с использованием Zip-Lock пакетов и бумаж-

ных конвертов формата А4 и А5, в которые отсортировывались листовые пластинки с исследуемого растения согласно стороне повреждения листовой пластинки: отдельно откладывали листья с верхнесторонними повреждениями, отдельно – с нижнесторонними, отдельно – с верхне- и нижнесторонними одновременно, что сопровождалось дополнительным этикетированием с указанием сторон листовой пластинки с обнаруженными на них повреждениями: такое разделение на отдельные группы поврежденных личинками тополевой моли-пестрянки листовых пластинок в последующем облегчило обработку материала. Отсортированные выборки листовых пластинок помещали в большие конверты и бумажные пакеты для постоянного хранения. На внешнюю сторону конверта прикалывали этикетки. Конверты складировали в пластмассовые прозрачные ящики и хранили в закрытых помещениях при комнатной температуре.

Для идентификации видовой принадлежности минеров по повреждениям использовали иллюстрированный определитель [15]. Дополнительно осуществляли выведение имаго из листовых мин для точной диагностики. Идентификацию имаго осуществляли с использованием специализированных ключей и определителей [16, 17].

Поврежденные листья сканировали на планшетном сканере Canon CanoScan 9000F Mark II (разрешение 600 dpi) с введением в область сканирования полоски миллиметровой бумаги, сопроводительной этикетки и маркировочной этикетки для обозначения стороны повреждения листовой пластинки.

Поврежденность оценивалась на основании данных по площади поврежденной личинками тополевой моли-пестрянки листовой поверхности верхней и нижней сторон листовых пластинок.

Для установления площади мин, изображения, полученные сканированием на планшетном сканере, обрабатывали средствами свободно распространяемого специализированного графического редактора ImageJ [18]. Полученные данные заносили в электронные таблицы.

Анализ фотоизображений предполагал установление площади отдельных мин (см²) и общей (суммарной) площади мин на отдельных листовых пластинках (см²), для установления относительной площади поврежденной листовой поверхности (поврежденности) листовых пластинок (%) также устанавливались площади листовых пластинок. Для данных показателей были рассчитаны доверительные интервалы (использована стандартная ошибка средней (SE)), в пределах которых находятся средние значения, и медианы (Me) полученных выборок. Также были проведены расчеты значений средней площади

отдельных мин, стандартной ошибки средней и медианы. С использованием полученных выборочных совокупностей были выполнены расчеты среднего числа мин на листовую пластинку с каждой из сторон (верхнесторонние, нижнесторонние мины или повреждения с обеих сторон).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам исследований можно констатировать, что по окончании развития личинок тополевой моли-пестрянки второй генерации значения показателей общей поврежденности листовых пластинок (относительной площади поврежденной листовой поверхности) тополя берлинского в г. Витебске в 2021 г. варьировали от 0,4% до 9,7% (В№ 1), от 0,68% до 32,18% (В№ 2) и от 0,27% до 15,83% (В№ 3) (рис. 1А). Различия между данными по общей поврежденности листовых пластинок статистически достоверны для выборок В№ 1 и В№ 2, В№ 2 и В№ 3 ($p < 0,05$).

Показатели поврежденности для верхней стороны листовых пластинок тополя берлинского

Статистический анализ проводили средствами программы RStudio, с целью установления достоверности различий между выборочными совокупностями использовали непараметрический критерий различий Уилкоксона-Манна-Уитни [19].

составляли от 1,71% до 9,40% (В№ 2), от 0,27% до 12,63% (В№ 3) (рис. 2А). У модельного экземпляра В№ 1 наличие верхнесторонних мин не зафиксировано. Различия между данными для верхней стороны листовых пластинок не были статистически достоверны ($p > 0,05$).

Показатели поврежденности для нижней стороны листовых пластинок варьировали в следующих пределах: от 0,4% до 9,7% для В№ 1, от 0,68% до 32,18% для В№ 2, от 0,63% до 15,83% для В№ 3. Различия между данными для верхней стороны листовых пластинок статистически достоверны между выборками В№ 1 и В№ 2, В№ 2 и В№ 3 ($p < 0,05$).

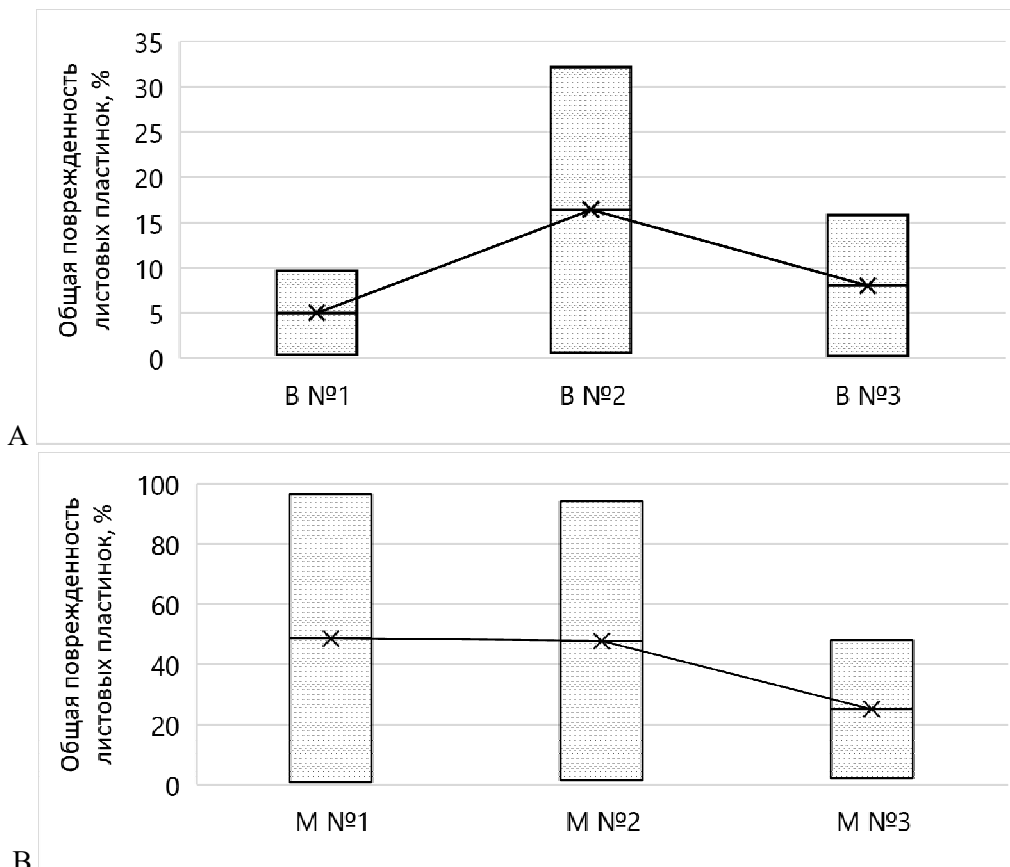


Рис. 1. Общая поврежденность листовых пластинок тополя берлинского личинками тополевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) по окончании второй генерации, 2021 г., А – г. Витебск, В – г. Минск

Fig. 1. Damage to the leaf blades of the Berlin poplar by the larvae of the poplar moth (*Phyllonorycter populifoliella*) at the end of the second generation, 2021, А – Vitebsk, В – Minsk

Общая поврежденность листовых пластинок тополя берлинского в г. Минске варьировала от 0,82% до 96,62% для М№ 1, от 1,53% до 94,16% для М№ 2 и от 2,25% до 48,07% для М№ 3 (рис. 1В). Различия статистически достоверны для выборок М№ 1 и М№ 3, М№ 2 и М№ 3 ($p < 0,05$).

Показатели поврежденности для верхней стороны листовых пластинок тополя берлинского в г. Минске составляли от 0,82% до 21,73% (М№ 1), от 1,53% до 23,37% (М№ 2) (рис. 2В). У тополя М№ 3 значения варьировали от 4,47% до 10,99%. Различия оказались статистически достоверны для выборок М№ 1 и М№ 3 ($p < 0,05$).

Показатели поврежденности для нижней стороны листовых пластинок находились в следующих пределах: от 8,83% до 96,62% для М№ 1, от

6,21% до 94,16% для М№ 2, от 2,25% до 48,07% для М№ 3 (см. рис. 2В). Различия были статистически достоверны для выборок М№ 1 и М№ 3, М№ 2 и М№ 3 ($p < 0,05$).

Для тополей, произрастающих в г. Витебске и г. Минске, установлено среднее количество мин на листовую пластинку в зависимости от локализации мин (табл. 1).

Отмечаются более высокие значения показателя среднего числа мин для листовых пластинок тополей, произрастающих в г. Минске во дворе жилой застройки (М №1) и в небольшой тополевой аллее (М №2), что можно объяснить благоприятными условиями для перезимовки тополевой моли-пестрянки, большим числом экземпляров кормовых растений и «накоплением» фитофага.

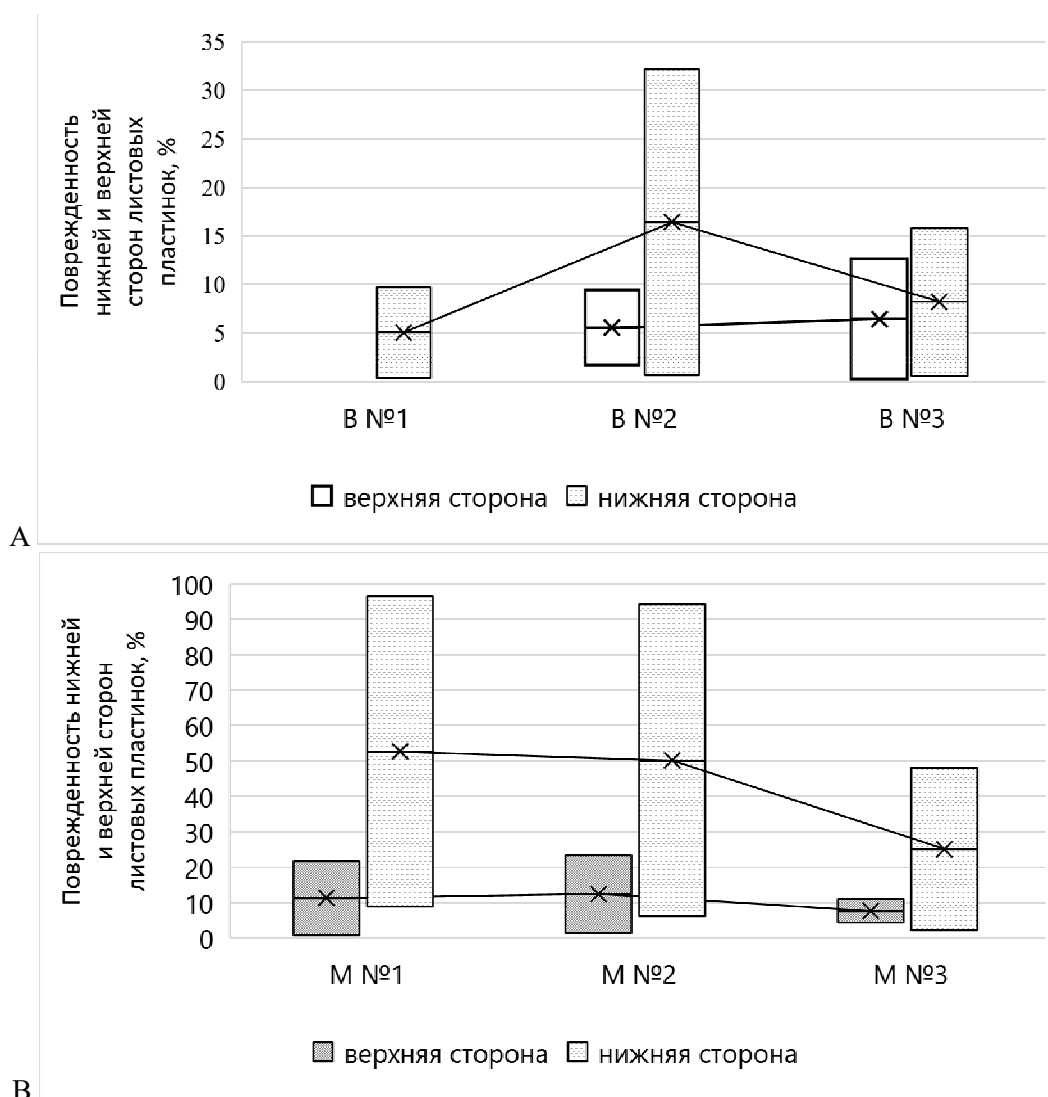


Рис. 2. Поврежденность нижней и верхней сторон листовых пластинок тополя берлинского личинками тополевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) по окончании второй генерации, 2021 г., А – г. Витебск, В – г. Минск

Fig. 2. Damage to the lower and upper sides of the leaf blades of the Berlin poplar by the larvae of the poplar moth (*Phyllonorycter populifoliella*) at the end of the second generation, 2021, А – Vitebsk, В – Minsk

Таблица 1. Среднее число мин на листовых пластинках, экз./лист**Table 1.** Average number of mines on leaf blades, min/leaf

Деревья тополя Poplar specimens	Среднее число мин на листовую пластинку Average number of mines per leaf blade						
	общее среднее число мин на листовую пла- стинку total average number of mines per leaf blade	общее среднее число мин при верхнесторонних повреждениях total average num- ber of mines for upper side	общее среднее число мин при нижнесторонних повреждениях total average num- ber of mines for lower side	при односторонних повреждениях for one-side mines		при двусторонних по- вреждениях for bilateral mines	
				верхне- сторонние мины upper-side mines	нижне-сто- ронние мины lower-side mines	верхне- сторонние мины upper-side mines	нижне-сто- ронние мины lower-side mines
В№ 1	1,71	–	1,71	–	1,71	–	–
В№ 2	2,98	1,33	2,93	2,00	3,03	1,00	2,00
В№ 3	1,98	1,40	2,10	1,33	2,10	2,00	2,00
М№ 1	19,88	3,19	17,45	–	18,00	3,19	17,28
М№ 2	18,13	3,08	15,81		10,13	3,08	17,71
М№ 3	5,28	2,50	4,93	5,00	4,26	2,14	8,29

Суммарная площадь мин личинок *Ph. populi-foliella* на листовой пластинке в г. Витебске варьировала (рис. 3А):

В№ 1 от 0,129 см² до 2,435 см² (X_{ср}±SE: 1,266±0,14 см²; Me: 1,199 см²);

В№ 2 от 0,036 см² до 1,62 см² (X_{ср}±SE: 0,466±0,051 см²; Me: 0,358 см²);

В№ 3 от 0,094 см² до 3,928 см² (X_{ср}±SE: 1,368±0,129 см²; Me: 1,173 см²).

Различия между данными суммарными площадями повреждений листовых пластинок статистически достоверны для В №1 и В №2, а также для В №2 и В №3 (p<0,05).

Суммарная площадь мин личинок *Ph. populi-foliella* на верхней стороне листовых пластинок *P. x berolinensis* в г. Витебск составляла (рис. 4А):

В№ 2 от 0,111 см² до 0,285 см² (X_{ср}±SE: 0,237±0,039 см²; Me: 0,246 см²);

В№ 3 от 0,094 см² до 1,482 см² (X_{ср}±SE: 0,905±0,137 см²; Me: 1,003 см²).

На тополе В№ 1 верхнесторонние мины не были обнаружены.

Различия между суммарными площадями повреждений верхней стороны листовых пластинок статистически достоверны (p<0,05).

Суммарная площадь мин личинок *Ph. populi-foliella* на нижней стороне листовых пластинок *P. x berolinensis* г. Витебск составляла:

В№ 1 от 0,129 см² до 2,435 см² (X_{ср}±SE: 1,266±0,139 см²; Me: 1,199 см²);

В№ 2 от 0,036 см² до 1,62 см² (X_{ср}±SE: 0,499±0,056 см²; Me: 0,416 см²);

В№ 3 от 0,174 см² до 3,928 см² (X_{ср}±SE: 1,517±0,156 см²; Me: 1,298 см²).

Различия между данными суммарными площадями повреждений нижней стороны листовых пластинок статистически достоверны для выборок В№ 1 и В№ 2, В№ 2 и В№ 3 (p<0,05).

Суммарная площадь мин личинок *Ph. populi-foliella* на листовых пластинках отдельных экземпляров тополей в зеленых насаждениях г. Минск (рис. 3В) варьировала:

М№ 1 от 0,113 см² до 45,099 см² (X_{ср}±SE: 11,468±1,235 см²; Me: 8,208 см²);

М№ 2 от 0,504 см² до 29,156 см² (X_{ср}±SE: 8,293±0,998 см²; Me: 5,132 см²);

М№ 3 от 0,582 см² до 11,141 см² (X_{ср}±SE: 3,464±0,334 см²; Me: 2,847 см²).

Различия между суммарными площадями повреждений листовых пластинок статистически достоверны для М№ 1 и М№ 3, а также для М№ 2 и М№ 3 (p<0,05).

Суммарная площадь мин личинок *Ph. populi-foliella* на верхней стороне листовых пластинок *P. x berolinensis* в г. Минск составляла (рис. 4В):

М №1 от 0,113 см² до 9,205 см² (X_{ср}±SE: 2,869±0,359 см²; Me: 2,317 см²);

М №2 от 0,87 см² до 7,374 см² (X_{ср}±SE: 2,523±0,329 см²; Me: 2,059 см²);

М №3 от 0,907 см² до 2,764 см² (X_{ср}±SE: 1,73±0,271 см²; Me: 1,653 см²).

Различия между суммарными площадями повреждений верхней стороны листовых пластинок не были статистически достоверны (p>0,05).

Суммарная площадь мин личинок *Ph. populi-foliella* на нижней стороне листовых пластинок *P. x berolinensis* в г. Минск составляла:

М №1 от 1,505 см² до 45,099 см² (X_{ср}±SE: 18,02±1,512 см²; Me: 17,018 см²);

М №2 от 1,626 см² до 29,156 см² (X_{ср}±SE: 12,62±1,274 см²; Me: 11,116 см²);

М №3 от 0,582 см² до 11,141 см² (X_{ср}±SE: 3,794±0,374 см²; Me: 3,636 см²).

Различия между суммарными площадями повреждений нижней стороны листовых пластинок для всех выборок статистически достоверны (p<0,05).

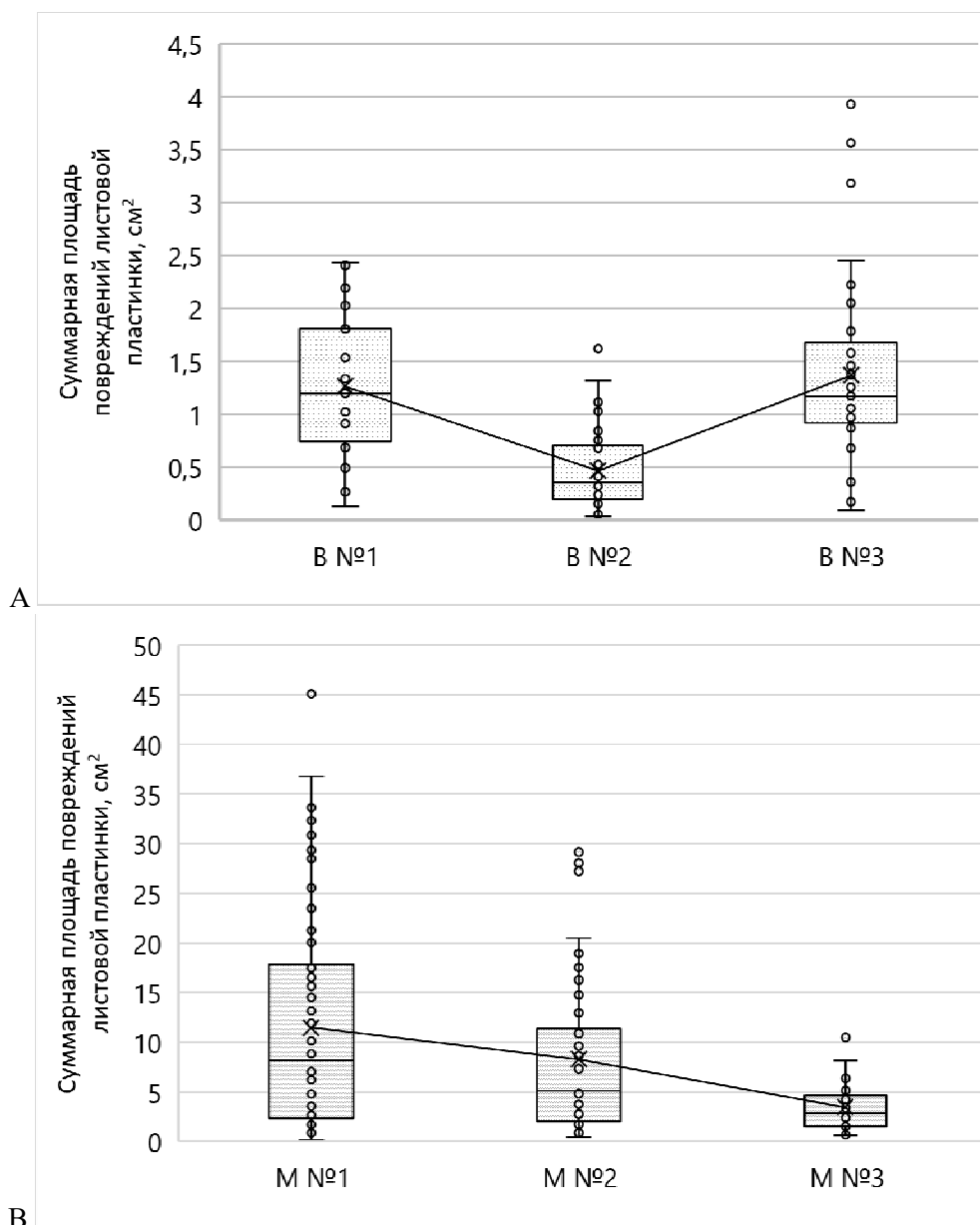


Рис. 3. Суммарная площадь повреждений (мин) листовых пластинок тополя берлинского личинками тополевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) второй генерации, 2021 г., А – г. Витебск, В – г. Минск

Fig. 3. The total area of damage to the leaf blades of Berlin poplar by the larvae of the poplar moth (*Phyllonorycter populifoliella*) of the second generation, 2021, А – Vitebsk, В – Minsk

Заселенность листовых пластинок на конец периода развития личинок второй генерации тополевой моли-пестрянки составляла в г. Витебске 25% для В№ 1, 60% и 65% для В№ 2 и В№ 3, соответственно. Для г. Минска значения показателя оказались следующими: 97% – для экземпляра М№ 1, 99% для М№ 2 и 45% для М№ 3.

Исследования, проведенные в период развития первой генерации тополевой моли-пестрянки показали, что на тополях во дворах жилых комплексов и в тополевых аллеях в середине июля 2021 г. была зафиксирована вспышка массового размножения тополевой моли-пестрянки, вследствие ко-

торой в конце развития личинок второй генерации заселенность составляла 99% для экземпляров тополя берлинского в тополевой аллее вблизи жилых застроек и 97% – во дворе жилого комплекса.

Регулярные вспышки массового размножения, различия в технике уборки и удаления опада листвы с куколками минера (в разное время и/или в разных местопроизрастаниях тополей) в насаждениях, как и различия микроклиматических условий, по-видимому, являются факторами, определяющими столь широкий диапазон варьирования поврежденности листовой поверхности тополя берлинского в зеленых насажде-

ниях городов Беларуси. При этом высокая вредоносность фитофага, обуславливаемая его широкой распространенностью, характером повреждений, катастрофически снижающих эстетические качества декоративных посадок, а также

способностью регулярно давать вспышки массового размножения в зеленых насаждениях населенных пунктов определяют актуальность дальнейшего изучения экологии данного опасного вредителя тополей в условиях Беларуси.

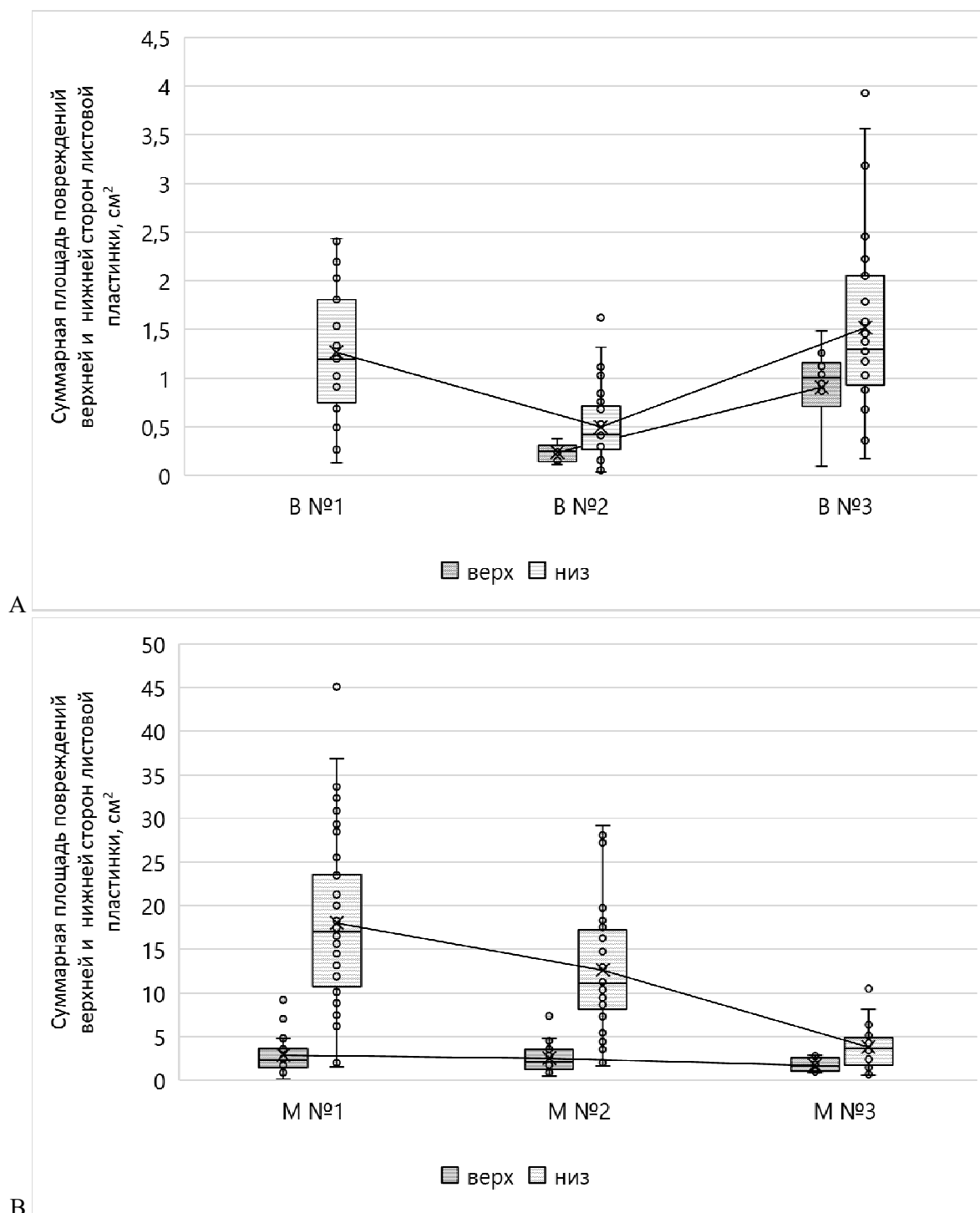


Рис. 4. Суммарная площадь повреждений (мин) с выделением верхней и нижней сторон листовых пластинок тополя берлинского личинками тополевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) второй генерации, 2021 г., А – Витебск, В – Минск

Fig. 4. The total area of damage with the allocation of the upper and lower sides of the leaf blades of Berlin poplar by larvae of the poplar moth (*Phyllonorycter populifoliella*) of the second generation, 2021, А – Vitebsk, В – Minsk

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного в вегетационном сезоне 2021 года исследования поврежденности листьев произрастающего в составе городских зеленых насаждений тополя берлинского (*Populus x berolinensis*) молью-пестрянкой (*Phyllonorycter populifoliella*) по окончании периода развития личинок второй генерации установлено, что общая относительная площадь поврежденной листовой поверхности деревьев в условиях города Витебска достигала 32,18%, города Минска – 96,62%. Поврежденность поверхности верхней стороны листовых пластинок тополя в зеленых насаждениях Витебска составляла 12,63%, нижней стороны – 32,18%; в зеленых насаждениях Минска – 23,37% и 96,62% соответственно.

Выявленные в каждом из городов статистически достоверные различия в общей поврежденности между отдельными экземплярами выборки исследуемых тополей в значительной степени можно соотнести со специфическими условиями микроклимата и влияния экологических факторов в местах их произрастания. Отмеченные в г. Витебске наиболее высокими показателями поврежденности листовой поверхности дерева произрастают вблизи водоема в парковой зоне, где, по-видимому, в среде обитания фитофага создается благоприятный для размножения и перезимовки моли режим влажности и температуры.

Статистически значимое повышение общей поврежденности молью листовых пластинок тополя берлинского в г. Минске, установленное у деревьев, произрастающих во дворах жилых построек, также может быть обусловлено климатическими условиями и таким экологическим фактором как ограниченное присутствие в данной среде обитания естественных врагов тополевой

моли, хищных насекомых, энтомофагов, паразитов и птиц, которые могут контролировать популяции моли в природной среде. Это свидетельствует о том, что в урбанизированной среде определенной структуры естественные биоразнообразие и баланс в популяциях насекомых могут быть нарушены. Высокая плотность тополевых деревьев в парках и дворовых территориях может способствовать возрастанию популяции моли за счет накопления кормовых ресурсов и количества мест для ее укрытия, а также инициировать вспышки массового размножения моли, при которых отмечаются увеличение поврежденности нижней стороны листовой пластинки и появление верхнесторонних мин, что сопровождается преждевременным увяданием листьев и ранней дефолиацией крон тополей.

Исследования показали наличие статистически значимых различий в суммарной площади мин личинок *Ph. populifoliella* на листовых пластинках разных экземпляров тополей. Это свидетельствует о возможной генетической вариабельности в отношении устойчивости к тополевой молью-пестрянке между различными экземплярами тополя берлинского.

Таким образом, исследование указывает на значимые различия в уровне поврежденности листьев тополя берлинского, вызванного тополевой молью-пестрянкой, в зависимости от мест произрастания, влияния факторов окружающей среды на распространение и размножение тополевой моли-пестрянки и генетических особенностей тополей. Эти результаты могут быть полезны для разработки стратегий борьбы с тополевой молью-пестрянкой и ее воздействия на городские насаждения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность заведующему кафедрой ботаники Белорусского государственного университета, кандидату биологических наук, доценту В.Н. Тихомирову за помощь в определении таксономической принадлежности тополей в ходе проводимых исследований экологии тополевой моли-пестрянки. Исследования выполнялись в рамках задания Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы (N ГР НИИР 20211658).

ЛИТЕРАТУРА

1. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В.И. Парфенова. – Мн.: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
2. Шкуратова Н.В. О возможности диагностики аборигенных и интродуцированных в Республике Беларусь видов *Populus L.* по анатомическим признакам коры однолетнего стебля / Н.В. Шкуратова // Вестник Брестского университета Сер. 5 Химия. Биология. Наука о земле. – 2011. – No1. – С. 63–71.
3. Мирон К. Ф. Интродукция тополей и перспектива выращивания их насаждений в лесах Белорусской ССР // Сборник научных трудов. Белорусский лесотехнический институт им. С. М. Кирова. – 1958. – Вып. 11. – С. 86–109.
4. Nervo, G. Current situation and prospects for European poplar culture: the role of Italian research / G. Nervo, D. Coaloa, L. Vietto // Third International Congress of Salicaceae in Argentina. – 2011. – P. 9.

5. Корлыханов М. С. Пылезадерживающая способность листовой поверхности тополя свердловского серебряного пирамидального в условиях г. Екатеринбурга / М. С. Корлыханов, Т. В. Корлыханова // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 10. – С. 93–94.
6. Dickmann D.I. Poplars and willows in the world, with emphasis on silver culturally important species / D.I. Dickmann, J. Kuzovkina // Poplars and willows: Trees for society and the environment. – 2014. – Vol. 22, № 8. – P. 91.
7. Синчук Н.В. Поврежденность листовых пластинок *Populus x canadensis* личинками тополевой моли-пестрянки (*Phyllonorycter populifoliella*) в условиях зеленых насаждений Центрального ботанического сада НАН Беларуси в 2016–2018 гг. / Н.В. Синчук, А.Б. Кучвальская, С.В. Буга // Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна. – 2020. – № 2. – С. 58–65.
8. Синчук, Н.В. Устойчивость различных видов тополей (*Populus* spp.) к заболеваниям и комплексу вредителей / Н.В. Синчук, В.П. Курченко // Экобиотех. – 2021 – Т. 4. – №3. – С. 210 – 220.
9. Семенченко, В.П. Чужеродные виды животных в естественных экосистемах Беларуси / В.П. Семенченко // Наука и инновации. – 2018. – Т. 7, № 185. – С. 20–25.
10. Скворцов А.К. Систематический конспект рода *Populus* в Восточной Европе, Северной и Средней Азии / А.К. Скворцов. – Бюлл. Гл. бот. Сада. – М: ГБС РАН – 2010. – Вып. 196. – С. 62–73.
11. *Populus x berlinensis*' [Электронный ресурс] / Trees and Shrubs Online – Режим доступа: <https://treesandshrubsonline.org/articles/populus/populus-x-berlinensis/> – Дата доступа: 20.10.2022.
12. Федорук А.Т. Интродуцированные деревья и кустарники западной части Белоруссии. – Минск: Издательство БГУ имени В.И. Ленина, 1972. – 191с.
13. Валягина-Матюлина Е.Т. Деревья и кустарники средней полосы европейской части России: Иллюстрированный определитель / Под ред. Т.Е. Тепляковой. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 459 с.
14. Кириченко Н.И. Методические подходы к исследованию насекомых, минирующих листья древесных растений / Н.И. Кириченко // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – № 207. – С. 235–246.
15. Ellis, W.N. *Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke, 1833) [Электронный ресурс] / W.N. Ellis. – Режим доступа: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/ditrypsia/gracillarioidea/gracillariidae/lithocolletinae/phyllonorycter/phyllonorycter-populifoliella/> – Дата доступа: 30.09.2022.
16. A Linnaeus NG interactive key to the Lithocolletinae of North-West Europe aimed at accelerating the accumulation of reliable biodiversity data (Lepidoptera, Gracillariidae) [Электронный ресурс] / C. Doorenweerd, et al – Режим доступа: https://lithocolletinae.linnaeus.naturalis.nl/linnaeus_ng/app/views/matrixkey/index.php?epi=9 – Дата доступа: 30.09.2022.
17. Nel J., Varenne T. Atlas des Lépidoptères Gracillariidae Lithocolletinae de France. Perpignan: Association Roussillonnaise d'Entomologie, 2014. – 144 p.
18. Количественная оценка поврежденности инвазивными минирующими насекомыми листовых пластинок декоративных древесных растений: учеб. материалы / О.В. Синчук [и др.]. – Мн.: БГУ, 2016. – 30 с.
19. Мастицкий С.Э. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R / С.Э. Мастицкий, В.К. Шитиков. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 496 с.

Поступила в редакцию 10.11.2022 г.

УДК 582.282

А. К. ХРАМЦОВ, В. Д. ПОЛИКСЕНОВА, И. А. ФЕДЮШКО,
С. Г. СИДОРОВА, И. С. ГИРИЛОВИЧ, Н. А. ЛЕМЕЗА

ЧУЖЕРОДНЫЕ ДЛЯ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ ФИТОПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ НА НЕКОТОРЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЯХ

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, e-mail: alexkhramtsov@mail.ru

Аннотация. В ходе проведенных исследований выявлены 54 вида чужеродных для условий Беларуси фитопатогенных микроскопических грибов и грибоподобных организмов, которые паразитировали на 35 видах овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растений. Образцы микромицетов хранятся в Гербарии Белорусского государственного университета (MSKU). В статье представлены результаты разно-стороннего анализа состава обнаруженных инвайдеров и питающих их растений. Показано преобладание сумчатых (19 видов, 35,2%) и анаморфных грибов (21 вид, 38,8%), развивающихся в филлосфере. Указываются болезни и состав гербофильных микосинузий, обнаруженные на собранных растениях. Установлено 15 видов инвайдеров, которые способны активировать интенсивность поражения растений, что создает предпосылки к развитию на территории Беларуси эпифитотий. Анализируются пути проникновения (посадочный материал растений-хозяев, воздушные потоки) в нашу республику чужеродных микромицетов, поражающих хозяйственно полезные растения.

Ключевые слова: чужеродные фитопатогенные микромицеты, инвайдеры, овощные, зеленные, пряно-ароматические, плодово-ягодные растения, агроклиматическая область, Беларусь.

A. K. KHRAMTSOV, V. D. POLIKSENOVA, I. A. FIADZIUSHKA,
S. G. SIDOROVA, I. S. HIRILOVICH, N. A. LEMEZA

PHYTOPATHOGENIC MICROMYCETES ALIEN TO BELARUS ON SOME USEFUL PLANTS

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: alexkhramtsov@mail.ru

Annotation. The research revealed 54 species of phytopathogenic microscopic fungi and fungus-like organisms alien to Belarus that were parasitized on 35 species of vegetable, herbaceous, spicy-aromatic and fruit-berry plants and are stored in the Herbarium of the Belarusian State University (MSKU). The article presents the results of a multifaceted analysis of the composition of the discovered invaders and the plants that feed them. The predominance of marsupials (19 species, 35.2%) and anamorphic fungi (21 species, 38.8%) developing in the phyllosphere is shown. The diseases and composition of herbophilous mycosinuzia found on the collected plants are indicated. Fifteen species of invaders have been identified that are capable of causing high intensity of plant infestation, which creates prerequisites for the development of epiphytotic on the territory of Belarus. The ways of penetration of alien micromycetes affecting plants of the above groups (planting material of host plants, air currents) into our Republic are analyzed.

Keywords: alien phytopathogenic micromycetes, invaders, vegetable, herbaceous, spicy and aromatic, fruit and berry plants, agroclimatic area, Belarus.

ВВЕДЕНИЕ

Неконтролируемые биологические инвазии, осуществляющиеся, в том числе, благодаря хозяйственной деятельности человека, чрезвычайно актуальны и являются одной из глобальных экологических проблем современности [1]. В последние десятилетия инвазионные процессы существенно ускорились в связи с интенсификацией межгосударственных и межрегиональных грузо- и пассажиропотоков, расширением

их географии, как и, вероятно, изменением регионального климата [2]. К числу инвайдеров относятся многие живые организмы, в том числе и микроскопические грибы и грибоподобные организмы, поражающие растения. Фитопатогенные микромицеты проникают на новые для них территории с воздушными массами, транспортом, но в основном с перевозимыми человеком растениями-интродуцентами [3, 4].

Попадая в новые условия существования фитопатогенные микромицеты продолжают развиваться на чужеродных растениях-хозяевах и могут вызвать массовое их поражение. Опасность таких чужеродных микромицетов, проникших в разное время в Беларусь из различных регионов нашей планеты, состоит в том, что у них появляется возможность паразитирования на близкородственных местных растениях, которые в процессе сопряженной эволюции пока не выработали к ним механизмов устойчивости.

Установление состава чужеродных для республики фитопатогенных микромицетов, их трофических и топических связей, статуса в фитоценозах позволит определить тенденции к

расширению их ареала, круга хозяев, даст возможность прогнозировать распространение наиболее вредоносных патогенов на территории Беларуси и наметить мероприятия по защите культивируемых растений от болезней.

Все вышесказанное побудило нас проанализировать образцы чужеродных для Беларуси фитопатогенных микромицетов, хранящихся в Гербарии Белорусского государственного университета (MSKU), с целью вычленения инвайдеров, развивающихся на культивируемых и дикорастущих растениях важных хозяйственно полезных групп: овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены на кафедре ботаники БГУ в 2021–2023 гг. в рамках НИР «Инвазивные фитопатогенные грибы, грибоподобные организмы и беспозвоночные животные на культивируемых и близкородственных дикорастущих растениях: статус в сообществах, распространение, диагностика».

Материалом для исследования служили образцы фитопатогенных микромицетов собственных сборов и образцы, хранящиеся в микологической коллекции Гербария Белорусского государственного университета (MSKU). Для анализа были отобраны 227 видов и внутривидовых таксонов чужеродных для Беларуси фитопатогенных микромицетов.

Сбор микромицетов осуществляли с использованием маршрутного метода микологических

и фитопатологических исследований [5]. Степень поражения растений чужеродными патогенами определена по 5-балльной шкале [6]. Идентификация видового состава растений и фитопатогенных микромицетов проведена с применением бинокулярного микроскопа Zeiss Stemi 2000, микроскопа Axiolab, а также соответствующих определителей и монографий [7–14].

Агроклиматическое зонирование Беларуси приведено по [15]. Принадлежность растений к чужеродным видам уточняли по сводке «Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения» [16]. Латинские названия таксонов грибов и грибоподобных организмов даны в соответствии с Международной глобальной базой данных Index Fungorum [17], а растений – Plants of the World Online (Royal Botanic Garden KEW) [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований нами установлено, что из 227 видов и внутривидовых таксонов фитопатогенных микромицетов, чужеродных для Беларуси, на овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растениях выявлено 54 вида грибов-инвайдеров (23,8% от общего числа чужеродных видов), из них на овощных, зеленных и пряно-ароматических растениях – 33 вида (14,5%) (табл. 1), на плодово-ягодных растениях – 21 вид (9,3% от общего числа чужеродных видов) (табл. 2).

Таксономический анализ выявленных нами патогенов-инвайдеров показал, что они принадлежат к 29 родам, 14 семействам, 11 порядкам, 9 классам, 4 отделам (Oomycota, Ascomycota, Basidiomycota и Deuteromycota), 2 царствам (Stramenopila и Fungi) (см. табл. 1, 2). Среди идентифицированных микромицетов почти в одинаковом соотношении были представлены сумчатые и

анаморфные (митоспоровые) грибы – 19 видов (35,2%) и 21 вид (38,8%) соответственно (рис. 1); из числа порядков доминировали монилиальные грибы (Moniliales) – 14 видов (25,9%) (табл. 3). Преобладание указанных микромицетов может быть связано с массовым формированием у них бесполого спороношения, которое способствует быстрому распространению и заселению новых субстратов, обеспечивая этим патогенам большую адаптационную пластичность в силу наличия гетерокариоза и парасексуального процесса.

Подавляющее большинство обнаруженных инвайдеров развивались на растениях в условиях открытого грунта или естественных фитоценозов, за исключением мучнисторосяного гриба *Erysiphe caricae*, зарегистрированного в условиях оранжереи БГУ на дынном дереве, а также темноцветного гифомицета *Passalora fulva*, отмеченного на томате в открытом и защищенном грунте [8].

Таблица 1. Чужеродные для Беларуси фитопатогенные микромицеты на овощных, зеленых и пряно-ароматических растениях в Гербарии БГУ

Table 1. The alien to Belarus phytopathogenic micromycetes on the vegetable, herbaceous, spicy and aromatic, fruit and berry plants of the BSU Herbarium

Вид растения-хозяина	Вид чужеродного микромицета
Дыня столовая (<i>Cucumis melo</i> L.)	<i>Pseudoperonospora cubensis</i> (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev
Любисток аптечный (<i>Levisticum officinale</i> W.D.J. Koch)	<i>Puccinia bornmuelleri</i> Magnus <i>Ramularia levistici</i> Oudem.
Морковь посевная (<i>Daucus carota</i> subsp. <i>sativus</i> (Hoffm.) Schübl. & G. Martens (<i>Daucus sativus</i> (Hoffm.) Röhl. ex Pass.))	<i>Alternaria dauci</i> (J.G. Kühn.) J.W. Groves & Skolko <i>Neocercospora carotae</i> (Pass.) Vaghefi, S.J. Pethybridge & R.G. Shivas (<i>Cercospora carotae</i> (Pass.) Kazn. & Siemaszko)
Огурец посевной (<i>Cucumis sativus</i> L.)	<i>Alternaria consortialis</i> (Thüm.) J.W. Groves & S. Hughes (<i>Ulocladium consortiale</i> (Thüm.) E.G. Simmons) <i>A. cucumerina</i> (Ellis & Everh.) J.A. Elliott <i>Gloeosporium orbiculare</i> (Berk.) Berk. (<i>Colletotrichum lagenaria</i> (Pass.) Ellis & Halst.) <i>Golovinomyces cucurbitacearum</i> (R.Y. Zheng & G.Q. Chen) Vakal. & Kliron. <i>Pseudoperonospora cubensis</i> (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev <i>Stagonosporopsis cucurbitacearum</i> (Fr.) Aveskamp, Gruyter & Verkley (<i>Ascochyta cucumis</i> Fautrey & Roum.)
Петрушка кудрявая (<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss)	<i>Alternaria petroselini</i> (Neerg.) E.G. Simmons <i>Fusoidiella depressa</i> (Berk. & Broome) Videira & Crous (<i>Passalora depressa</i> (Berk. & Broome) Sacc.) <i>Plasmopara petroselini</i> Sävul & O. Sävul. <i>Septoria petroselini</i> Desm.
Полынь эстрагонная (<i>Artemisia dracunculus</i> L.)	<i>Puccinia dracunculina</i> Fahrenh.
Редька масличная (<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>sativus</i> (L.) Domin (<i>Raphanus sativus</i> convar. <i>oleifer</i> Alef.))	<i>Alternaria japonica</i> Yoshii
Редька посевная (<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>sativus</i> (L.) Domin (<i>Raphanus sativus</i> L.))	<i>Alternaria brassicae</i> (Berk.) Sacc. <i>A. brassicicola</i> (Schwein.) Wiltshire <i>Hyaloperonospora brassicae</i> (Gäum.) Göker, Voglmayr, Riethm., Weiss & Oberw. (<i>Peronospora brassicae</i> Gäum.)
Репка (<i>Brassica rapa</i> L.)	<i>Hyaloperonospora brassicae</i> (Gäum.) Göker, Voglmayr, Riethm., Weiss & Oberw. (<i>Peronospora brassicae</i> Gäum.)
Свекла обыкновенная (<i>Beta vulgaris</i> L.)	<i>Cercospora beticola</i> Sacc. <i>Erysiphe betae</i> (Vaňha) Weltzien <i>Peronospora farinosa</i> f. sp. <i>betae</i> Byford <i>Uromyces betae</i> (Pers.) Tul. (<i>U. beticola</i> (Bellynck) Boerema, Loer. & Hamers)
Томат (<i>Solanum lycopersicum</i> L. (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.))	<i>Alternaria linariae</i> (Neerg.) E.G. Simmons (<i>A. tomatophila</i> E.G. Simmons) <i>Passalora fulva</i> (Cooke) U. Braun & Crous <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary <i>Septoria lycopersici</i> Speg.
Топинамбур (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	<i>Golovinomyces ambrosiae</i> (Schwein.) U. Braun & R.T.A. Cook
Тыква обыкновенная (<i>Cucurbita pepo</i> L.) (включая кабачок)	<i>Golovinomyces cucurbitacearum</i> (R.Y. Zheng & G.Q. Chen) Vakal. & Kliron. <i>Pseudoperonospora cubensis</i> (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev <i>Septoria cucurbitacearum</i> Sacc.
Укроп пахучий (<i>Anethum graveolens</i> L.)	<i>Fusoidiella anethi</i> (Pers.) Videira & Crous (<i>Phoma anethi</i> (Pers.) Sacc.) <i>F. depressa</i> (Berk. & Broome) Videira & Crous (<i>Passalora depressa</i> (Berk. & Broome) Sacc.)
Хрен обыкновенный (<i>Armoracia rusticana</i> G. Gaertn., B. Mey, & Scherb.)	<i>Alternaria brassicae</i> (Berk.) Sacc. <i>Cercospora armoraciae</i> Sacc. <i>Peronospora cochleariae</i> Gäum. <i>Ramularia armoraciae</i> Fuckel
Всего: 15	33

Таблица 2. Чужеродные для Беларуси фитопатогенные микромицеты на плодово-ягодных растениях в Гербарии БГУ

Table 2. The alien to Belarus phytopathogenic micromycetes on the fruit and berry plants of the BSU Herbarium

Вид растения-хозяина	Вид чужеродного микромицета
Барбарис канадский (<i>Berberis canadensis</i> Mill.) Барбарис обыкновенный (<i>B. vulgaris</i> L.) Магония падуболистная (<i>B. aquifolium</i> Pursh (<i>Mahonia aquifolium</i> (Pursh) Nutt.))	<i>Erysiphe berberidis</i> DC. (<i>Microsphaera berberidis</i> (DC.) Lévl.)
Бузина черная (<i>Sambucus nigra</i> L.)	<i>Erysiphe vanbruntiana</i> (W.R. Gerard) U. Braun & S. Takam. (<i>Microsphaera vanbruntiana</i> W.R. Gerard) <i>Cercospora depazeoides</i> (Desm.) Sacc.
Виноград амурский (<i>Vitis amurensis</i> Rupr.) Виноград лисий (<i>V. vulpina</i> L.)	<i>Erysiphe necator</i> Schwein. (<i>Uncinula necator</i> (Schwein.) Burrill)
Виноград обыкновенный, или культурный (<i>V. vinifera</i> L.)	<i>Plasmopara viticola</i> (Berk. & M.A. Curtis) Berl. & De Toni <i>Erysiphe necator</i> Schwein. (<i>Uncinula necator</i> (Schwein.) Burrill) <i>Sultanimyces vitiphyllus</i> (Speschnew) Videira & Crous (<i>Scolicotrichum vitiphyllum</i> (Speschnew) Karak. & Vassiljevsky, <i>Cercospora vitiphylla</i> (Speschnew) Barbarin) <i>Phyllosticta viticola</i> Sacc. & Speg. <i>Septoria melanosa</i> Elenkin
Вишня обыкновенная (<i>Prunus cerasus</i> L. (<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.))	<i>Taphrina wiesneri</i> (Ráthay) Mix
Персик обыкновенный (<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch)	<i>Taphrina deformans</i> (Berk.) Tul.
Груша обыкновенная (<i>Pyrus communis</i> L.) (включая <i>P. communis</i> subsp. <i>pyraster</i> (L.) Ehrh. – груша лесная)	<i>Gymnosporangium sabinae</i> (Dicks.) G. Winter
Дынное дерево (<i>Carica papaya</i> L.)	<i>Erysiphe caricae</i> U. Braun & Bolay
Ирга колосистая (<i>Amelanchier ×spicata</i> (Lam.) K. Koch)	<i>Podosphaera amelanchieris</i> Maurizio
Крыжовник обыкновенный (<i>Ribes uva-crispa</i> L. (<i>Grossularia uva-crispa</i> (L.) Mill.)) Смородина альпийская (<i>R. alpinum</i> L.) Смородина золотистая (<i>R. aureum</i> Pursh) Смородина красная (<i>R. rubrum</i> L.) Смородина черная (<i>R. nigrum</i> L.)	<i>Podosphaera mors-uvae</i> (Schwein.) U. Braun & S. Takam. (<i>Sphaerotheca mors-uvae</i> (Schwein.) Berk. & M.A. Curtis)
Магония падуболистная (<i>Berberis aquifolium</i> Pursh (<i>Mahonia aquifolium</i> (Pursh) Nutt.))	<i>Cumminsella mirabilissima</i> (Peck) Nannf.
Облепиха крушиновидная (<i>Hippophaë rhamnoides</i> L.)	<i>Phyllactinia hyppophaes</i> Thüm. ex S. Blumer
Орех грецкий (<i>Juglans regia</i> L.)	<i>Pseudomicrostroma juglandis</i> (Bérenger) T. Kij. & Aime (<i>Microstroma juglandis</i> (Bérenger) Sacc.) <i>Ophiognomonium leptostyla</i> (Fr.) Sogonov (<i>Marssonina juglandis</i> (Lib.) Magnus) <i>Phyllosticta juglandina</i> Sacc.
Смородина альпийская (<i>Ribes alpinum</i> L.) Смородина золотистая (<i>R. aureum</i> Pursh) Смородина черная (<i>R. nigrum</i> L.)	<i>Cronartium ribicola</i> J.C. Fisch.
Шелковица белая (<i>Morus alba</i> L.)	<i>Neophloeospora maculans</i> (Bérenger) Videira & Crous (<i>Cylindrosporium maculans</i> (Bérenger) Jacz.)
Всего: 20	21

Все выявленные нами микромицеты по топической характеристике принадлежали к одной экологической группе – микромицеты филлопланы (филлосферы). Этот факт подтверждает наибольшую уязвимость филлосферы при заселении растений чужеродными патогенами, распространяющимися с помощью воздушных потоков как одного из основных природных путей их мигра-

ции [19, 20]. Примером переноса чужеродных микромицетов с помощью воздушных масс явилась массовая воздушная миграция конидий возбудителя пероноспороза огурца с территории стран Средиземноморья, где круглогодичная культура огурца привела к накоплению инфекционного начала. В результате псевдогриб *Pseudoperonospora cubensis* в 1980-х гг. вызвал одновре-

менное массовое поражение листьев *Cucumis sativus* в Беларуси и других странах Западной и Восточной Европы, а также Азии [21].

Анализ выявленных нами микромицетов на принадлежность к трофическим экологическим группам показал, что среди них в Гербарии БГУ почти в равном соотношении представлены факультативные сапротрофы и факультативные паразиты (29 видов, или 53,7%), а также облигатные паразиты (25 видов, или 46,3%).

Нами отмечено, что некоторые из обнаруженных чужеродных микромицетов, паразитируя на растениях, образуют гербофильные микосинузии, поражая совместно с другими микромицетами, как чужеродными, так и аборигенными, одни и те же органы растений: *Podosphaera mors-uvae* и *Cronartium ribicola* – на смородине черной, *Plasmopara viticola* и *Erysiphe necator* – на винограде культурном, *Gymnosporangium sabinae* и *Septoria pyricola* Desm. – на груше обыкновенной.

Фитопатогенные микромицеты выявлены нами на дикорастущих и культивируемых двудольных покрытосеменных растениях 35 видов, 25 родов и 15 семейств (см. табл. 1, 2). Среди пораженных растений преобладали чужеродные для Беларуси виды (33 вида, или 94,3%), которые, по-видимому, и явились векторами проникновения (посадочный материал) чужеродных фитопатогенных микромицетов на территорию Беларуси. Это подтверждается тем фактом, что практически все отмеченные патогены-инвайдеры являются узкоспециализированными паразитами, которые в процессе сопряженной эволюции приурочены в своем развитии к растениям-хозяевам определенного вида или рода.

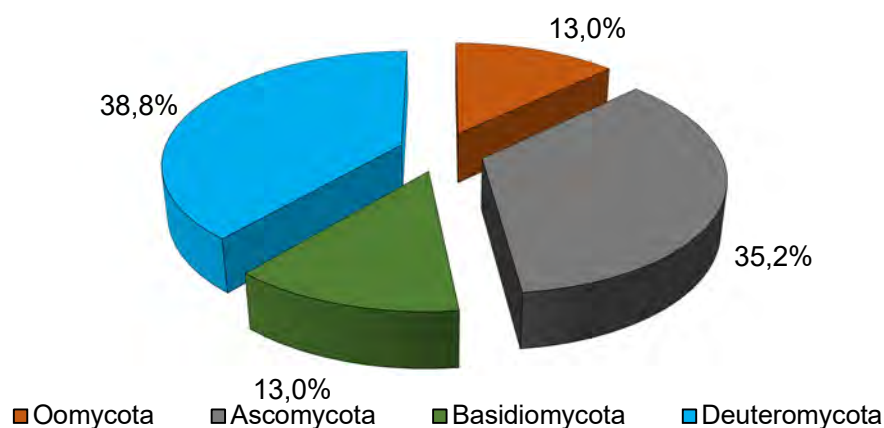


Рис. 1. Количественное распределение по отделам чужеродных микромицетов, выявленных на овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растениях Гербария БГУ

Fig. 1. Quantitative distribution by department of the alien micromycetes, detected on vegetable, herbaceous, spicy-aromatic and fruit-berry plants of the BSU Herbarium

Таблица 3. Количественное распределение по таксонам чужеродных микромицетов, выявленных на овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растениях Гербария БГУ

Table 3. Quantitative distribution by taxons of the alien micromycetes, detected on vegetable, herbaceous, spicy-aromatic and fruit-berry plants of the BSU Herbarium

Порядки микромицетов	Семейства		Роды		Виды	
	количество	%	количество	%	количество	%
Hyphomycetales (Moniliales)	2	14,5	4	13,9	14	25,9
Helotiales	1	7,1	4	13,9	10	18,5
Peronosporales	1	7,1	5	17,2	7	13,0
Sphaeropsidales	1	7,1	2	6,9	6	11,0
Pucciniales	3	21,6	5	17,2	6	11,0
Mycosphaerellales	1	7,1	4	13,9	5	9,3
Taphrinales	1	7,1	1	3,4	2	3,7
Diaporthales	1	7,1	1	3,4	1	1,9
Melanconiales	1	7,1	1	3,4	1	1,9
Microstromatales	1	7,1	1	3,4	1	1,9
Pleosporales	1	7,1	1	3,4	1	1,9
Всего:	14	100,0	29	100,0	54	100,0

Из числа аборигенных для нашей республики видов растений, пораженных чужеродными грибами, в анализируемых сборах отмечены только груша обыкновенная (включая грушу лесную) и смородина черная. Так, на *Pyrus communis*, промежуточном хозяине ржавчинного гриба *Gymnosporangium sabinae*, в последние годы во всех агроклиматических областях Беларуси наблюдается эпифитотия ржавчины, что отмечено уже неоднократно многими исследователями (рис. 2) [22–24]. Причина данного явления – культивирование на территории республики чужеродных для нее видов можжевельников (в первую очередь можжевельника казацкого), являющихся основными хозяевами гриба *G. Sabinae*. У данного патогена в таких условиях стало возможным протекание жизненного цикла, что в совокупности с климатическими условиями привело к массовому поражению в спермогонияльной и эциальной стадиях ценной плодовой культуры – груши обыкновенной.

Аборигенное ягодное растение Беларуси смородина черная в анализируемых нами сборах была поражена чужеродными грибами двух видов: настоящим мучнисторосяным грибом *Podosphaera mors-uvae* и ржавчинным грибом *Cronartium ribicola*. Первый из них является возбудителем американской мучнистой росы на

крыжовнике и смородине различных видов и, имея североамериканское происхождение, широко распространился в Европе с 1930-х гг., поражая как аборигенных (*Ribes nigrum*), так и чужеродных представителей крыжовника и смородины (например, *Ribes uva-crispa*, *R. rubrum*, *R. alpinum*, *R. aureum*) [25–27] (рис. 3; см. табл. 2).

Гриб *Cronartium ribicola* представляет собой полноциклового разнохозяинный ржавчинник, вызывающий столбчатую ржавчину различных видов смородины и крыжовника (р. *Ribes* s.l.). Последние выступают в качестве основных хозяев данного патогена, где развиваются телии и, в конечном итоге, фрагмобазидии с базидиоспорами. Промежуточными хозяевами гриба *C. ribicola* являются пятихвойные сосны, где происходит образование спермогониев и эциев. Урединолог З.М. Азбукина делает предположение, что *C. ribicola* происходит из Сибири, где он встречается на сосне кедровой сибирской и смородине [14]. Проникнув в Европу в середине XIX в., патоген стал часто развиваться тут на сосне веймутовой и видах смородины и крыжовника [14, 25]. Сборы смородины, пораженной столбчатой ржавчиной, показывают распространение гриба *C. ribicola* в трех агроклиматических областях Беларуси (см. рис. 3).

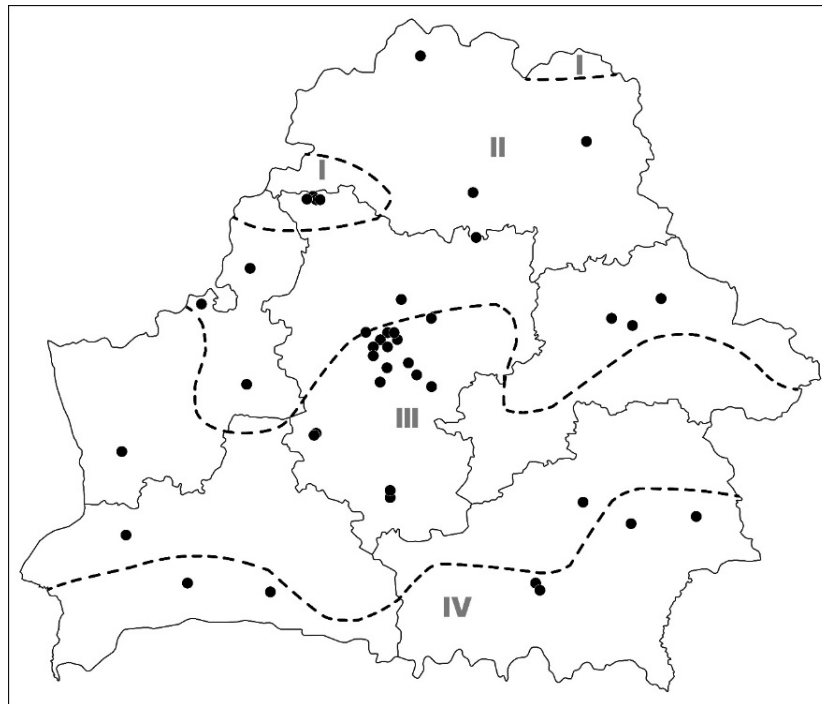


Рис. 2. Местонахождения гриба *Gymnosporangium sabinae* на груше обыкновенной в Беларуси:
 - - - - - границы агроклиматических областей (I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая)
 ————— границы административных областей, ● – места сбора материала

Fig. 2. Locations of the fungus *Gymnosporangium sabinae* on the common pear tree in Belarus:
 - - - - - boundaries of agroclimatic regions (I – Northern, II – Central, III – Eastern, IV – New)
 ————— boundaries of administrative regions, ● – places of material collection

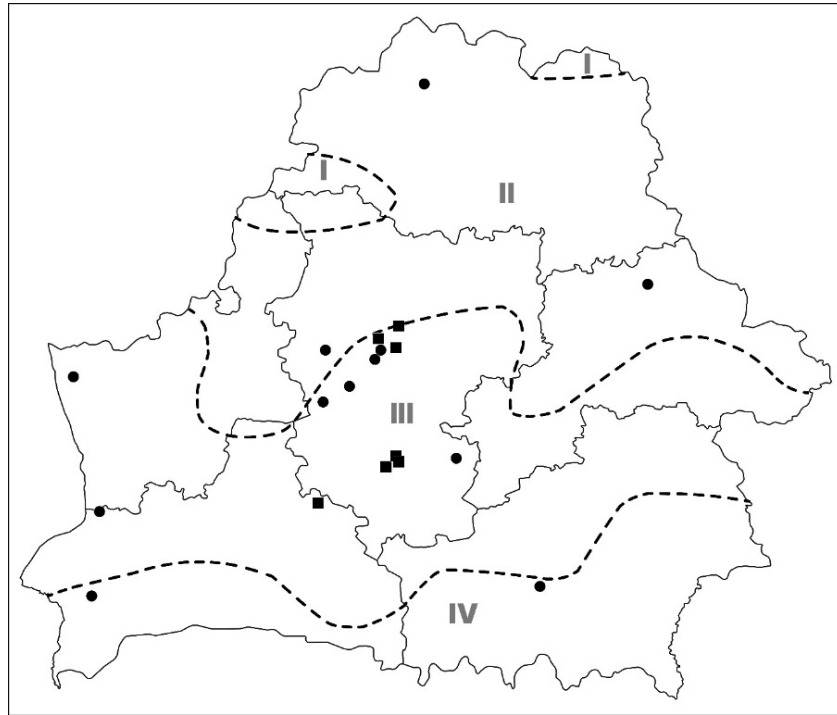


Рис. 3. Местонахождения столбчатой ржавчины и мучнистой росы на смородине черной в Беларуси (обозначения областей см. на рис. 2):
● – места сбора *Cronartium ribicola*, ■ – места сбора *Podosphaera mors-uvae*

Fig. 3. Locations of columnar rust and powdery mildew on black currant in Belarus (see fig. 2 for area designations): ● – locations of *Cronartium ribicola*, ■ – locations of *Podosphaera mors-uvae*

Анализ гербарного материала позволил сделать вывод, что микромицеты вызывают такие болезни растений как пероноспороз, тафриноз (курчавость листьев и ведьмины метлы), мучнистая роса, ржавчина, филлостиктоз, рамуляриоз, церкоспороз, альтернариоз, антракноз, аскохитоз, септориоз, фомоз, коккомикоз, белая и бурая пятнистости.

Из числа выявленных нами видов и внутривидовых таксонов чужеродных микромицетов отмечены представители 15 видов, которые в агрофитоценозах и антропогенно нарушенных сообществах Беларуси способны вызывать максимальную интенсивность поражения (4 балла) овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растений 14 видов: *Phytophthora infestans* и *Passalora fulva* на *Solanum lycopersicum*, *Peronospora farinosa* f. sp. *betae* и *Erysiphe betae* на *Beta vulgaris*, *Alternaria consorsialis* на *Cucumis sativus*, *Pseudoperonospora cubensis* на *Cucumis melo*, *Alternaria brassicae* на *Brassica oleracea*, *Golovinomyces ambrosiae* на *Helianthus tuberosus*, *Ramularia levistici* на *Levisticum officinale*, *Fusoidiella depressa* на *Petroselinum crispum*, *Erysiphe necator* на *Vitis vinifera*, *E. berberidis* на *Berberis vulgaris*, *Gymnosporangium sabiniae* на *Pyrus communis*, *Podosphaera mors-uvae* на *Ribes uva-crispa* и *R.*

nigrum, *P. amelanchieris* на *Amelanchier spicata*. Данный факт свидетельствует о высокой адаптации указанных патогенов к новым условиям и создает предпосылки к развитию на территории Беларуси эпифитотий.

Заслуживает внимания гриб *Alternaria linariae* (*A. tomatophila*), выявленный по сборам Гербария БГУ в двух агроклиматических областях южной части Беларуси (рис. 4). Данный микромицет, кроме нашей республики, отмечен в различных регионах планеты (Австралия, Бразилия, Венесуэла, Греция, Дания, Киргизия, Новая Зеландия, Россия, США, Таиланд, Украина, Южная Корея) на *Solanum lycopersicum* L., *Linaria maroccana* Hook. и *Capsicum frutescens* L. [28–30]. Для Беларуси *A. linariae* впервые приводится в литературе в 2008 г. из Минской области на листьях томата в защищенном грунте с сильной степенью поражения [29]. Учитывая сборы данного патогена с листьев и плодов томата в 2008, 2013, 2017 и 2018 гг., можно заключить, что он приобрел способность к регулярному размножению и находится на стадии натурализации [28–31]. Данная ситуация требует внимания к грибу *A. linariae*, способному, вероятно, приобрести статус инвазивного и вызвать эпифитотийное развитие альтернариоза на томате в Беларуси.

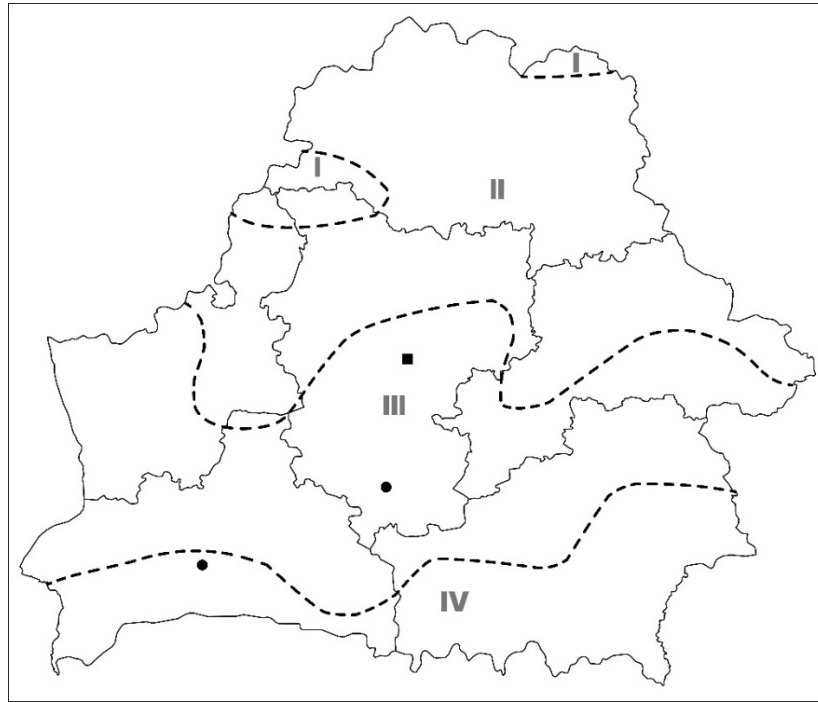


Рис. 4. Местонахождения возбудителей альтернариоза томата и огурца посевного в Беларуси (обозначения областей см. на рис. 2): ● – места сбора *Alternaria linariae*, ■ – место сбора *A. cucumerina*

Fig. 4. Locations of *Alternaria* pathogens of tomato and cucumber seeds in Belarus (see fig. 2 for area designations): ● – *Alternaria linariae* collection sites, ■ – *A. cucumerina* collection site

Результаты проведенного нами анализа показали, что наибольшее количество чужеродных микромицетов отмечено из числа овощных, зеленных и пряно-ароматических растений на *Cucumis sativus* (6 видов, 11,1%) (см. табл. 1). В числе патогенов-инвайдеров на огурце посевном из единственного местообитания (Минская область, Пуховичский район) встретился гриб *Alternaria cucumerina*, который связан в своем развитии с тыквенными культурами и ранее в литературе для Беларуси указывался только на *Cucurbita pepo* (см. рис. 4) [32]. Данный патоген отмечен в ряде стран мира, кроме того, на огурце, люффе, дыне, и, на наш взгляд, является примером чужеродного возбудителя альтернариоза, который в нашей республике расширяет круг питающих растений, усугубляя фитопатологическую ситуацию по альтернариозу на тыквенных культурах совместно с традиционным его возбудителем – грибом *Alternaria consortialis* (*Ulocladium consortiale*) [10, 33, 34].

Из числа плодово-ягодных растений наибольшее количество чужеродных микромицетов (5

видов, 9,3%) отмечено на винограде обыкновенном (культурном) (см. табл. 2). Все они являются паразитами, узкоспециализированными к растениям рода *Vitis*. Кроме широко распространенных в Беларуси и вредоносных микромицетов (*Plasmopara viticola* и *Erysiphe necator*), в Гербарии БГУ нами отмечены малораспространенные чужеродные патогены: *Sultaniomyces vitiphyllus*, *Phyllosticta viticola* и *Septoria melanosa*, вызывающие церкоспороз, филлостиктоз, септориоз соответственно и требующие пристального внимания и дальнейшего изучения (рис. 5).

К числу чужеродных микромицетов, представленных в гербарии БГУ единичными находками, принадлежат *Puccinia dracunculina* на полыни эстрагонной, *P. bornmuelleri* на любисточке аптечном, *Alternaria cucumerina* на огурце посевном, *Phyllactinia hypophaeae* на облепихе крушиновидной, *Cercospora depazeoides* на бузине черной, *Erysiphe berberidis* на барбарисе канадском, *E. caricae* на дынном дереве, *E. necator* на винограде лисьем, *Cronartium ribicola* и *Podosphaera mors-uvae* на смородине альпийской [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами исследования показали, что в Беларуси ряд микроскопических грибов и грибоподобных организмов, являющихся возбудителями опасных заболеваний овощных, зелен-

ных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растений, относится к чужеродным. Нами выявлено 54 вида чужеродных для Беларуси фитопатогенных микромицетов, развивающихся в фил-

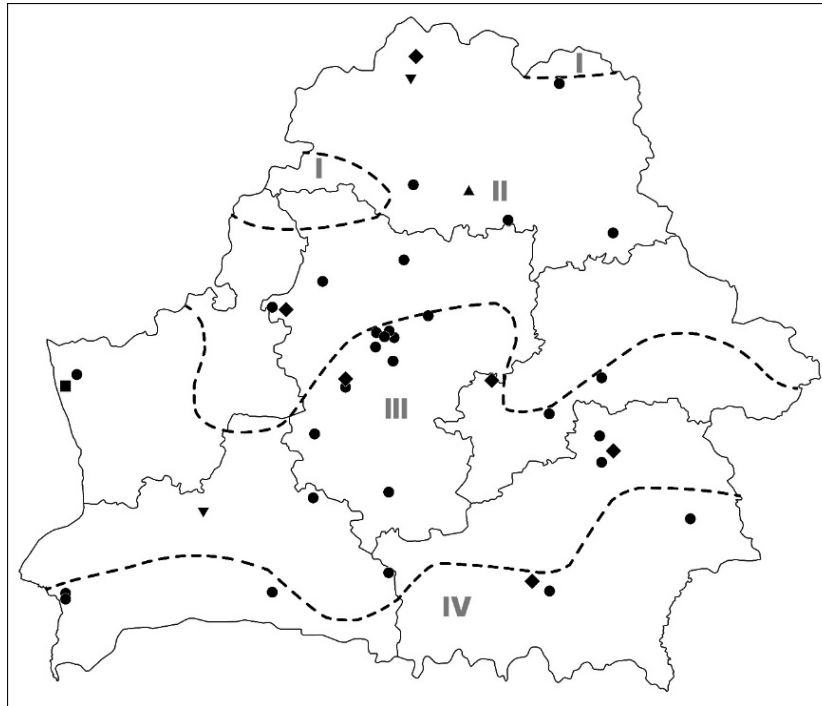


Рис. 5. Местонахождения чужеродных микромицетов на винограде обыкновенном (культурном) в Беларуси (обозначения областей см. на рис. 2):
 ◆ – места сбора *Plasmopara viticola*, ● – места сбора *Erysiphe necator*, ▲ – места сбора *Sultanimyces vitiphyllyus*,
 ■ – места сбора *Phyllosticta viticola*, ▼ – места сбора *Septoria melanosa*

Fig. 5. Locations of alien micromycetes on common (cultivated) grapes in Belarus (see fig. 2 for area designations):

◆ – collection sites of *Plasmopara viticola*, ● – collection sites of *Erysiphe necator*, ▲ – collection sites of *Sultanimyces vitiphyllyus*, ■ – collection sites of *Phyllosticta viticola*, ▼ – collection sites of *Septoria melanosa*

лосфере 35 видов дикорастущих и культивируемых овощных, зеленных, пряно-ароматических и плодово-ягодных растений. Образцы обнаруженных инвайдеров хранятся в гербарии БГУ. Данные фитопатогенные микромицеты в разное время проникли на нашу территорию, вероятно, как с посадочным материалом растений-интродуцентов, так и с воздушными потоками, и распространились на фоне изменяющихся и подходящих для них климатических условий.

Отмеченные патогены-инвайдеры являются узкоспециализированными к своим хозяевам определенных родов и видов и обнаружены нами в основном на чужеродных растениях 33 видов (94,3% от общего числа видов растений-хозяев),

которые являются, вероятно, их векторами проникновения (например, тыквенные культуры, томат, виноград, барбарис, грецкий орех, шелковица и др.). В некоторых случаях они стали также развиваться на аборигенных растениях (например, возбудители американской мучнистой росы и столбчатой ржавчины – на смородине черной, возбудитель ржавчины – на груше обыкновенной).

Приведенная информация не является исчерпывающей и предполагает проведение дальнейших исследований в мониторинговом режиме с целью выяснения статуса в сообществах чужеродных видов микромицетов, поражающих растения важных хозяйственно-полезных групп в различных местообитаниях на территории Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / А. Ф. Алимов [и др.]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 436 с.
2. Семенченко, В. П. Чужеродные виды животных в естественных экосистемах Беларуси / В. П. Семенченко // Наука и инновации. – 2018. – № 7 (185). – С. 20–25.
3. Поликсенова, В. Д. Чужеродные фитопатогенные микромицеты Беларуси / В. Д. Поликсенова, А. К. Храмов // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Хим., биол., геогр. – 2015. – № 3. – С. 43–48.
4. Поликсенова, В. Д. Чужеродные растения и фитопатогенные микромицеты в Беларуси: реальная и потенциальная опасность / В. Д. Поликсенова [и др.] // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Хим., биол., геогр. – 2016. – № 3. – С. 60–67.

5. Теоретические и методические проблемы сравнительной флористики: материалы 2-го рабочего совещания по сравнительной флористике. Неринга, 1983. – Л.: Наука, 1987. – 283 с.
6. Определитель болезней сельскохозяйственных культур / М. К. Хохряков [и др.]. – Л.: Колос. Ленингр. отделение, 1984. – 304 с.
7. Гирилович, И. С. Грибоподобные организмы (порядок Peronosporales) Беларуси / И. С. Гирилович. – Минск: БГУ, 2013. – 183 с.
8. Гирилович, И. С. Мучнисторосяные грибы (порядок Erysiphales) Беларуси / И. С. Гирилович. – Минск: БГУ, 2018. – 279 с.
9. Визначник грибів України в п'яти томах. Том III. Незавершені гриби / С. Ф. Морочковський [и др.]. – Київ: Видавництво «Наукова думка», 1971. – 696 с.
10. Simmons, E. G. *Alternaria* an Identification Manual / E. G. Simmons. – Netherlands, 2007. – 775 p.
11. Каратыгин, И. В. Определитель грибов России. Порядки Тафриновые, протомициевые, экзобазидиевые, микроstromациевые / И. В. Каратыгин. – СПб.: Наука, 2002. – 135 с.
12. Определитель болезней растений. 3-е изд., испр. / М. К. Хохряков [и др.]. – СПб: Изд-во Лань, 2003. – 592 с.
13. Купревич, В. Ф. Определитель ржавчинных грибов СССР. Часть I. Сем. Melampsoraceae и некот. роды сем. Pucciniaceae / В. Ф. Купревич, В. И. Ульянищев. – Минск: «Наука и техника», 1975. – 336 с.
14. Азбукина, З. М. Порядок Ржавчинные. 1. Семейства Пукциниастровые, Кронарциевые, Мелампсоровые, Факопсоровые, Чакониевые, Микронегериевые. (Определитель грибов России) / З. М. Азбукина. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – 281 с.
15. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата: в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь / В.И. Мельник [и др.]. – Минск-Женева, 2017. – 84 с.
16. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д.В. Дубовик [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2020. – 407 с.
17. Index Fungorum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.indexfungorum.org/names/Names.asp. – Дата доступа: 10.04.2023.
18. Plants of the World Online (Royal Botanic Garden KEW) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://powo.science.kew.org/>. – Дата доступа: 12.04.2023.
19. Горленко, М. В. Миграции фитопатогенных микроорганизмов / М. В. Горленко. – М.: Изд-во Московского университета, 1975. – 108 с.
20. Левитин, М. М. Миграции фитопатогенных грибов и ареалы популяций / М. М. Левитин [и др.] // Микология сегодня. – Т. 2. – 2011. – С. 261–274.
21. Дьяков, Ю. Т. Популяционная биология фитопатогенных грибов / Ю. Т. Дьяков. – М.: ИД «Муравей», 1998. – 384 с.
22. Поликсенова, В. Д. Ржавчина груши в Беларуси как результат инвазии гриба *Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) G. Winter. / В. Д. Поликсенова // Экспериментальная биология и биотехнология. – 2022. – № 3. – С. 73–84.
23. Якимович, О. А. Устойчивость районированных в Беларуси сортов груши к ржавчине (*Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) G. Winter) / О. А. Якимович [и др.] // Плодоводство. – Т. 34. – 2022. – С. 30–37.
24. Кондратёнок, Ю. Г. Ржавчина груши (*Gymnosporangium sabinae* (Dicks.) G. Winter) – опасная грибная болезнь / Ю. Г. Кондратёнок, О. А. Якимович, Т. Н. Марцинкевич // Плодоводство. – Т. 33. – 2021. – С. 205–210.
25. Общая фитопатология: учебник для вузов / К.В. Попкова [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.
26. Коровин, К. Л. Устойчивость сортов смородины чёрной к грибным болезням / К. Л. Коровин, А. М. Дмитриева // Плодоводство. – Т. 22. – 2010. – С. 189–194.
27. Андрушкевич, Т. М. Устойчивость гибридного потомства крыжовника различного генетического происхождения к американской мучнистой росе / Т. М. Андрушкевич // Плодоводство. – 2013. – Т. 25 (1). – С. 268–283.
28. Ганнибал, Ф. Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*: метод. пособие / Ф. Б. Ганнибал. – СПб: ВИЗР, 2011. – 71 с.
29. Ганнибал, Ф. Б. Характеристика патогена томата *Alternaria tomatophyla*, ранее не идентифицированного в России / Ф. Б. Ганнибал, А. С. Орина // Микология и фитопатология. – Т. 47, вып. 1, 2013. – С. 51–55.
30. Ганнибал, Ф. Б. Виды рода *Alternaria*, обнаруженные в России и на некоторых соседних территориях / Ф. Б. Ганнибал // Микология и фитопатология. – Т. 49, вып. 6, 2015. – С. 374–385.
31. Kokaeva, L. Y. Phylogenetic Study of *Alternaria* Potato and Tomato Pathogens in Russia / L. Y. Kokaeva [et al.] // MDPI Diversity. – 2022. – Vol. 14 (685). – P. 1–12.
32. Беломесяцева, Д. Б. Флора Беларуси. Грибы: в 7 т. Т.2: Анаморфные грибы, Кн.1: Темноокрашенные гифомицеты / Д. Б. Беломесяцева, Т. Г. Шабашова; под ред. В.И. Парфенова. – Минск: Белорусская наука, 2015. – 162 с.
33. Woudenberg, J. Large-spored *Alternaria* pathogens in section Porri disentangled / J. Woudenberg [et al.] // Studies in Mycology. – 2014. – Vol. 79. – P. 1–47.
34. Zhao, L. New Species of Large-Spored *Alternaria* in Section Porri Associated with Compositae Plants in China / L. Zhao [et al.] // J. Fungi. – 2022. – Vol. 8 (607). – P. 1–16.

Поступила в редакцию 11.05.2023 г.

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ PLANTS PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

УДК 582.998.2: 632.954

Н. А. ЛАМАН, А. В. УСИК, Ж. М. АНИСОВА, А. Н. ГРИЦ, Е. Н. ОЛЕШУК, М. М. САК

СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ИСКОРЕНЕНИЯ ИНВАЗИВНОГО ВИДА ЗОЛОТАРНИКА (*SOLIDAGO CANADENSIS* L.)

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: nikolai.laman@gmail.com*

Аннотация. В экспериментах, проведенных в лабораторных условиях и полевых опытах, определяли оптимальные дозы гербицида и сроки обработки растений, а также эффективность совмещения этих обработок с кошением популяций золотарника (*Solidago canadensis* L.) в период интенсивного роста растений. В качестве гербицида использовали Магнум, ВДГ (метсульфурон-метил, 600 г/кг). При скашивании растений золотарника происходит усиленное формирование боковых побегов и последующий переход растений в генеративную фазу развития, что указывает на малую эффективность искоренения данных инвазивных видов путем кошения. Однако использование кошения с последующей обработкой отрастающих растений гербицидом приводит к их быстрому отмиранию. В опытах с определением сроков обработки после кошения выявлено, что метсульфурон-метил угнетает рост растений независимо от времени его применения.

Ключевые слова: золотарник канадский, *Solidago canadensis* L., инвазивные виды растений, гербицид Магнум, кошение, полевой опыт, лабораторный опыт.

N. A. LAMAN, A. W. USIK, Z. M. ANISOVA, A. N. GRIZ, E. N. OLESHUK, M. M. SAK

THE METHODS TO LIMIT THE DISTRIBUTION AND ERADICATE OF INVASIVE GOLDENROD (*SOLIDAGO CANADENSIS* L.)

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: nikolai.laman@gmail.com*

Annotation. In experiments conducted in laboratory conditions and field experiments, it was necessary to determine the optimal doses of herbicide and the timing of plant treatment, as well as the effectiveness of combining these treatments with the mowing of goldenrod (*Solidago canadensis* L.) populations during the period of intensive plant growth. Magnum were used as an herbicide. When mowing goldenrod plants, there is an increased formation of lateral shoots and the subsequent transition of plants into the generative phase of development, which indicates a low efficiency of eradication of these invasive species by mowing. However, the use of mowing with subsequent treatment of regrowing plants with herbicide leads to their rapid death. In experiments with determining the processing time after mowing, it was found that the herbicide inhibits plant growth regardless of the time of its use.

Keywords: goldenrod, *Solidago canadensis* L., invasive plant, herbicide Magnum, mowing, field experience, laboratory experience.

ВВЕДЕНИЕ

В список инвазивных растений Республики Беларусь, распространение и численность которых подлежит регулированию, включено 10 видов, среди них золотарники канадский (*Solidago canadensis* L.) и гигантский (*Solidago gigantea* Ait.).

Виды рода *Solidago* – травянистые корневищные многолетники высотой от 10 см (декоратив-

ные многолетники высотой от 10 см (декоратив-

ные карликовые формы) до 2 м как золотарник гигантский. Известно [1], что организм корневищных многолетних травянистых растений состоит из двух различных метамерных систем: надземной с апикальной частью в качестве организующего центра и подземной, представленной плагиотропно растущими корневищами, которые имеют собственные механизмы регуляции роста и вегетативного развития.

Корневища формируются на подземной части надземного ортотропного побега и являются органами вегетативного размножения. Благодаря наличию на них апикальной и пазушных почек формируется подземный меристематический потенциал (подземный банк почек) корневищных многолетних растений, который обеспечивает им высокую конкурентоспособность, пластичность, устойчивость в широком диапазоне экологических условий, способность захватывать большие территории в природных сообществах.

В соответствии с принятой в настоящее время терминологией, организм, формирующийся из семени называют ортет (ortet) [2]. В популяционной экологии для обозначения любых особей семенного происхождения используется термин генет (genet) [3]. Образующиеся в последующие годы из почек на корневищах надземные побеги возобновления называют ракетами (ramets). Это организмы одного генетически идентичного клона. Образование клонов особенно характерно для длиннокорневищных, корнеотпрысковых и наземно-ползучих растений, к которым относятся и инвазивные виды золотарников.

В клонах ракета морфологически и физиологически сохраняют определенное время связь с материнским индивидом (генетом) и друг с другом, обеспечивая на протяжении десятилетий постепенное разрастание и омоложение клона, и, соответственно, удержание захваченной территории и формирование популяций, состоящих из клонов (рис. 1).

Разработка способов ограничения и искоренения инвазивных золотарников только начата и публикаций на эту тему немного. В Республике Беларусь такие исследования проводятся Институтом защиты растений [4]. Авторы испытывали препараты на основе сульфометурон-метила (Террсан, ВДГ, Веник, ВДГ) и установили, что в максимальной дозе внесения гербицида (262,5 г д. в. на гектар) гибель растений золотарника канадского составила 85–100%. Все произрастающие на участке однолетние и многолетние травянистые виды погибали полностью и участок восстанавливался до первоначального уровня только через 3–5 лет.

Вторая работа комплексная, выполнена сотрудниками Центрального ботанического сада, Гродненского и Витебского государственных университетов [5]. На основании серии полевых опытов авторы делают вывод, что в условиях Беларуси для борьбы с золотарниками наиболее перспективен гербицид Магнум, ВДГ в нормах от 40 до 100 г/га и подчеркивают, что «...максимальная эффективность мероприятий с применением гербицида Магнум достигается при экологически целесообразных и регионально адек-

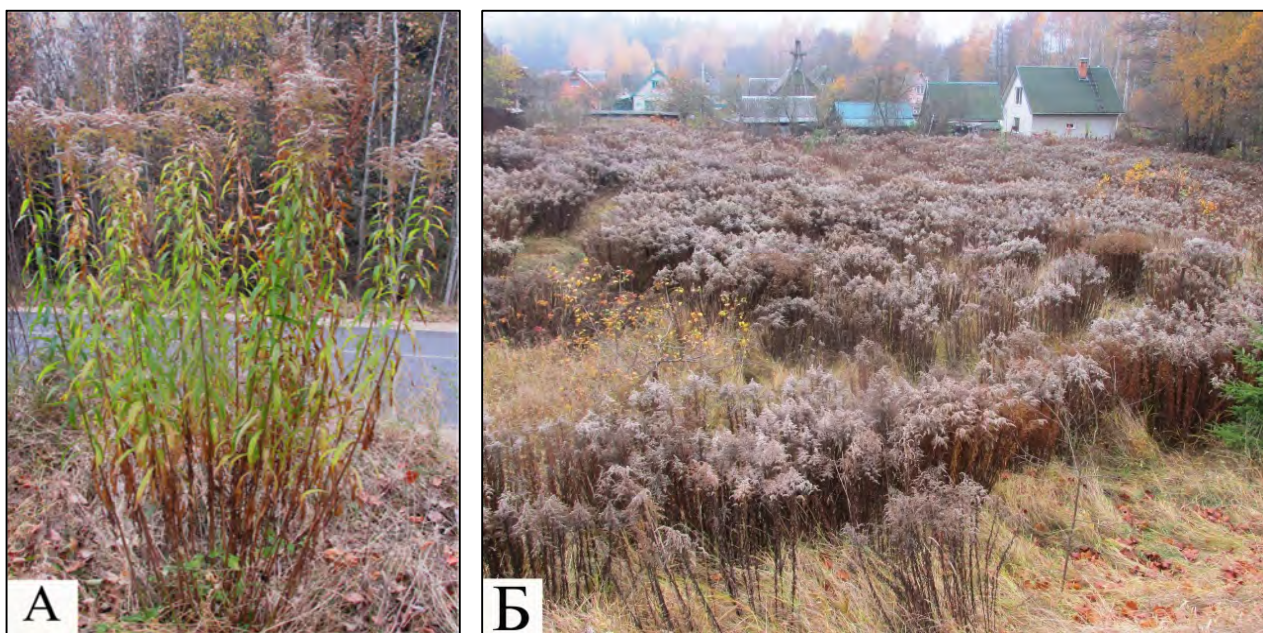


Рис. 1. Золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.):

А – клон, Б – популяция, сформированная клонами

Fig. 1. Canadian goldenrod (*Solidago canadensis* L.): А – clone, Б – population, formed by clones

ватных нормах расхода, а также при комплексном подходе, совмещающем кошение и обработку растений с высотой побегов 30–50 см». При этом авторы не поясняют, что значит «биорациональные» или «регионально адекватные» нормы расхода гербицида, которые завышены почти на порядок относительно расхода метсульфурон-метила на полевых сельскохозяйственных культурах, и почему эти нормы должны возрастать применительно к конкретному виду растений (золотарнику) в 2,5 раза в направлении с юга на север.

Нами неоднократно подчеркивалось [6, 7], что разработка эффективных мер борьбы с агрессивными видами должна основываться на целостной системе логически обоснованных приемов и времени их осуществления. Научной основой предлагаемых способов борьбы должны быть данные по особенностям биологии искореняемого инвазивного вида и закономерностям прохождения им цикла индивидуального развития. Важное значение имеет также знание механизмов формирования популяций конкретного вида, их пространственной экспансии, которая осуществляется, главным образом, путем производства обильного семенного и вегетативного потомства. Работа с гербицидами должна проводиться с максимальным учетом механизмов их действия, путей поступления в растения и поведения при попадании на почву и растения.

Анализ накопленного положительного опыта борьбы с гигантскими борщевиками показывает, что препараты на основе метсульфурон-метила имеют хорошую перспективу и для разработки способов борьбы с другими инвазивными видами. Преимущества этих препаратов обеспечивают следующие их свойства:

- селективность действия, что позволяет сохранять злаковый травостой;

- все сульфонилмочевинные гербициды имеют единый механизм действия, основанный на подавлении фермента ацетолататсинтазы, которая катализирует образование незаменимых аминокислот – валина, лейцина и изолейцина; поскольку у человека и животных данный фермент отсутствует, они малотоксичны и для человека, и для животных. ЛД₅₀ в опытах на крысах для метсульфурон-метила составляет 5000 мг/кг живого веса;

- активность метсульфурон-метила проявляется в очень малых дозах (до 10 г/га) и в меньшей степени, чем у препаратов других классов, зависит от температуры внешней среды, гранулометрического состава почв, гербицид быстро (за 2–3 часа) проникает в растения, совместим с большинством пестицидов в составе баковых смесей;

- гербицидное действие метсульфурон-метила реализуется в делящихся клетках меристем, молодых растущих органах растений. В этой связи обработка растений должна начинаться весной как можно раньше – по активно отрастающим растениям, молодым проросткам, массово появляющимся из семян, прошедших осенне-зимнюю стратификацию. Если время упущено и растения вступают в генеративную стадию развития, предварительно должно быть проведено скашивание. Обработку гербицидом проводят через 5–7 дней по активно появляющимся из почек молодым побегам;

- в популяциях с низкой численностью или на одиночных клонах золотарников гербициды можно применять на любой стадии развития, при этом до фазы бутонизации-начала цветения обрабатывается все растение, а с началом цветения гербицид наносится на почву в центр клона для подавления активно формирующихся корневищ у основания надземных побегов.

Изложенные выше подходы экспериментально обоснованы в серии лабораторных и полевых опытов, результаты которых приводятся ниже.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследований соцветия сухих растений золотарника, собранных в окрестностях агрогородка Сенница Минского района, обмолотили, и полученные семена использовали в экспериментах.

На основании литературных данных [8–15] использовали морфологический признак, позволяющий различать изучаемые инвазивные виды – отсутствие опушения и гладкий, блестящий стебель – характерный признак золотарника гигантского (*Solidago gigantea* Ait.), а опушение стебля в верхней части указывает на принадлежность растений к виду золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) (рис. 2).

В 3-х модельных лабораторных опытах семена *Solidago canadensis* высевали в субстрат в кюветы площадью 250 см² и высотой слоя почвогрунта 5 см.

Целью опыта I являлось изучение влияния гербицида Магнум, ВДГ с действующим веществом метсульфурон-метил на рост растений на начальных этапах развития. Обработку 20-дневных растений проводили из расчета 5, 10 и 20 г/га гербицида. Контролем служили растения, обработанные водой. Объем рабочего раствора рассчитывался исходя из расхода 500 л/га, что соответствует 50 мл/м², а на кювету площадью 250 см² в опыте расход составил 1,25 мл.

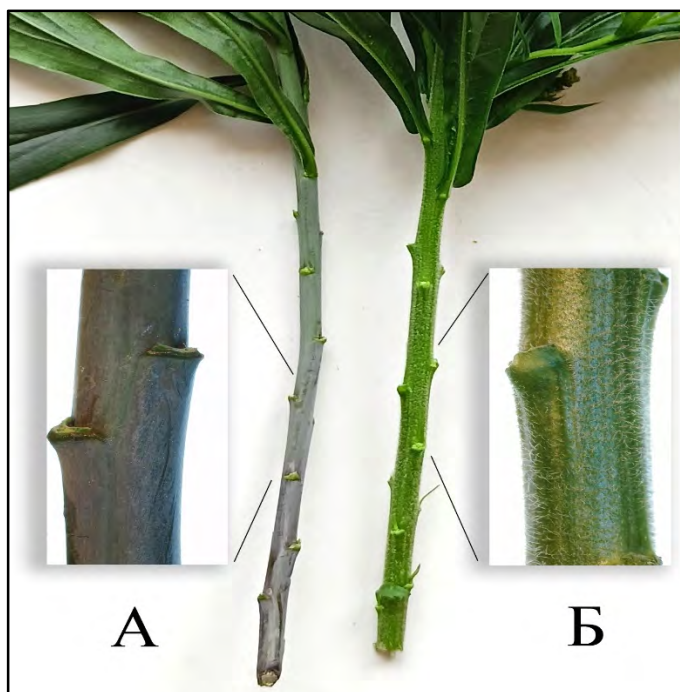


Рис. 2. Морфологические признаки инвазивных видов рода Золотарник: А – стебель золотарника гигантского, Б – стебель золотарника канадского

Fig. 2. Morphological features of invasive species of the genus goldenrod: А – the stem of the giant goldenrod, Б – the stem of the Canadian goldenrod

В опыте II изучали влияние этого же гербицида на рост 60-дневных растений. Для этого 20-дневные растения пересаживали в горшки диаметром 18 см, высотой 15 см и выращивали до 60-дневного возраста. Обработку 60-дневных растений проводили по схеме опыта I.

Опыт III дополнительно включал предварительное «скашивание» растений с целью определения эффективности этого приема при последующей обработке растений гербицидом. «Скашивание» в лабораторном опыте проводили путем срезания растений ножницами на высоте 5 см от уровня почвы в сосуде. Исходя из результатов предыдущих опытов, обработку осуществляли гербицидом Магнум из расчета 10 г/га по препарату. Опыт поставлен на 70-дневных растениях. Контролем служили растения, опрыснутые водой. Таким образом, в опыте было два контроля: контроль 1 – скошенные необработанные гербицидом растения, контроль 2 – не скошенные необработанные растения. Опытными вариантами являлись обработанные гербицидом скошенные и не скошенные растения.

Исследование влияния гербицида Магнум на рост растений золотарника в естественной среде произрастания осуществляли в условиях 3-х **полевых опытов.**

Опыт I проведен на делянках площадью 6 м². Обработка растений проводилась из расчета 5 и 10 г/га гербицида Магнум. При выборе указан-

ных доз исходили из данных, полученных в лабораторном опыте. Объем рабочего раствора на одной делянке рассчитывался, исходя из его расхода в объеме 500 л/га, что соответствует 50 мл/м². Контролем служили необработанные гербицидом растения. Повторность опыта трехкратная.

Опыт II проведен на участке общей площадью 152 м² и включал варианты с кошением и без кошения на более позднем этапе развития растений. Первоначально данный участок был очищен от отмерших прошлогодних побегов и разделен на 18 делянок, каждая площадью 6 м². Обработку проводили гербицидом в дозах, указанных выше. В вариантах с кошением обработку гербицидом осуществляли через неделю после кошения, с началом роста боковых почек в пазухах листьев на оставшейся после кошения надземной части побега. Повторность опыта трехкратная.

Дополнительно проведен **опыт III** по влиянию разных сроков обработки гербицидом растений после кошения. Опытные участки площадью 3 м² обрабатывали гербицидом в следующем порядке: участок 1 – через 15 дней после кошения, участок 2 – через месяц, участок 3 – через 1,5 месяца.

Оценку влияния гербицида на рост и развитие золотарника канадского проводили на основе биометрических измерений и визуально, отдельные варианты опытов фотодokumentировали.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В лабораторных опытах визуальные отличия опытных растений от контрольных проявились через двое суток после обработки препаратом Магнум в виде скручивания верхнего самого молодого листа и остановки роста растений. Наибольший видимый эффект был достигнут на 10-е сутки после обработки. В вариантах с обработкой гербицидом наблюдалось пожелтение листьев, образование некрозов в проводящей системе стебля и на листьях и, впоследствии, засыхание растений.

Провести такие исследования на природных популяциях золотарника в полевых условиях затруднительно, поскольку высота растений в начале весенней вегетации не превышает 2-3 см, что затрудняет определение их видовой принадлежности по морфологическим признакам, особенно у аборигенного вида золотарника обыкновенного и инвазивных видов – золотарников канадского и гигантского.

Исследование в лабораторных условиях влияния гербицида на 60-ти дневные растения, имеющие специфические признаки золотарника канадского: ланцетные листья с зубчатым краем, опушение стебля в верхней части растения и листа с нижней стороны, а также наличие трех жилок на нижней части листовой пластинки, выявило эффект действия гербицида на 3-е сутки – скручивание и пожелтение верхних растущих листьев. На 10-й день высота обработанных гербицидом растений в дозах 10 г/га и 20 г/га была соответственно на 38,1 % и 49,4 % ниже по сравнению с контрольными. Через 2 месяца высота контрольных растений была в 4 раза выше, чем у растений с обработкой в дозах

10 г/га и 5 г/га и в 6 раз выше в варианте обработки дозой 20 г/га (рис. 3).

Также отмечено постепенное снижение высоты обработанных растений относительно растений до обработки, что указывает на процессы увядания и засыхания растения.

У всех контрольных растений наблюдалось начало формирования корневищ, в то время как у опытных данного процесса не отмечено (рис. 4).

Длина корней у обработанных растений золотарника канадского во всех вариантах также была меньше контрольных значений на 19% в вариантах с дозой гербицида 5 г/га и 10 г/га и на 26% – в варианте 20 г/га (рис. 5). Количество корней у обработанных растений уменьшалось более чем в 2 раза.

Полевой опыт подтвердил результаты модельных лабораторных опытов. Участки через 2 недели после обработки гербицидом отличались от контрольных наличием скрученных и пожелтевших верхних молодых растущих листьев у растений во всех вариантах опыта с обработкой гербицидом (рис. 6, А). Через месяц после обработки растения имели засохшие верхушку и верхние развернувшиеся листья (рис. 6, Б и В), что резко отличало опытные варианты от контрольных по внешнему виду.

Так, высота обработанных растений через 2 недели была меньше контрольных на 50% в вариантах с дозой 5 г/га и 10 г/га гербицида и на 56% при дозе гербицида 20 г/га. Через месяц опытные растения по высоте были ниже контрольных в 3 раза, что объясняется полной остановкой роста и засыханием верхушки растения (рис. 7).

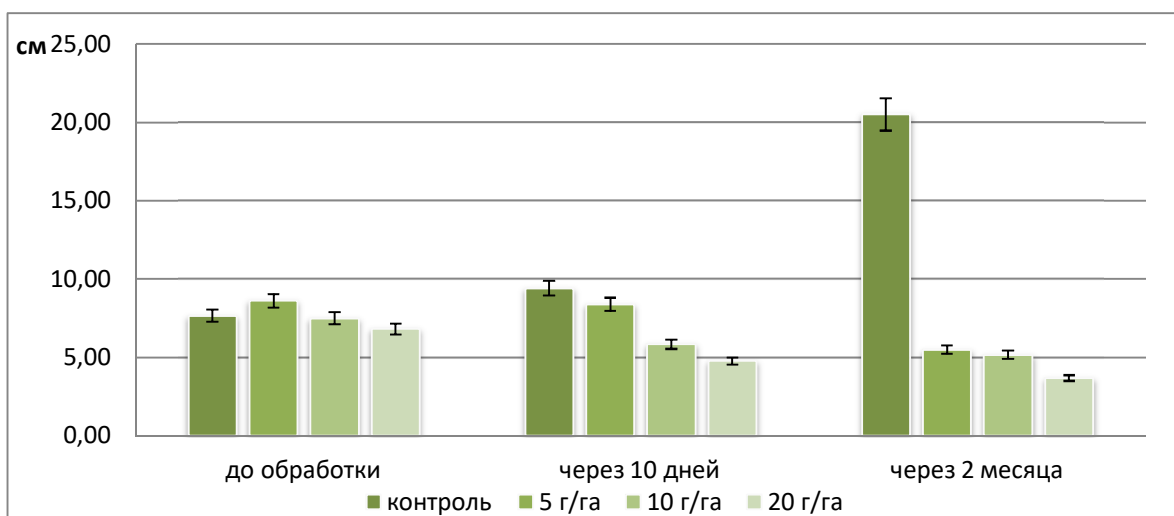


Рис. 3. Изменение высоты растений золотарника канадского после обработки гербицидом

Fig. 3. Change in height of Canadian goldenrod plants after herbicide treatment

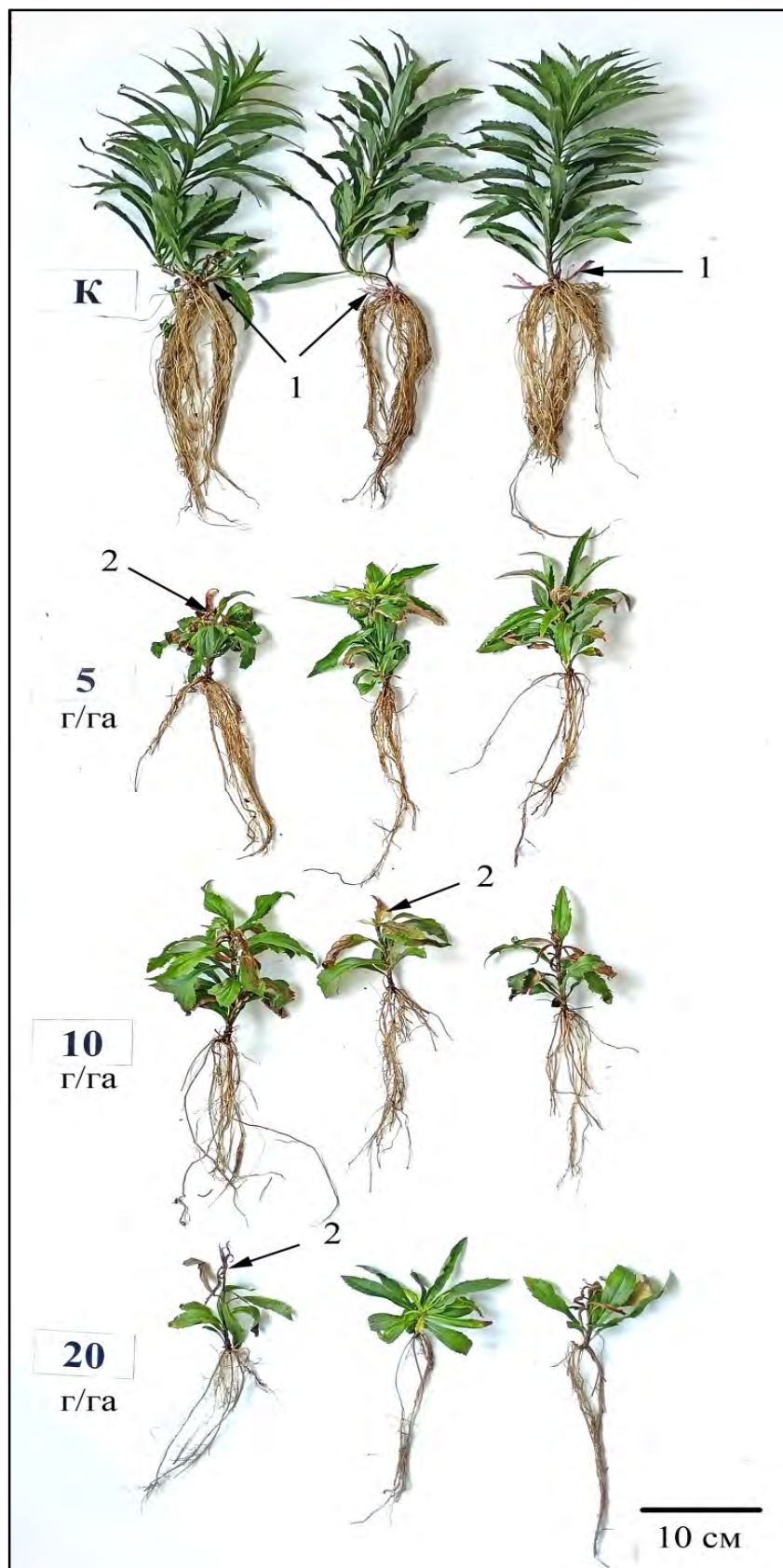


Рис. 4. Влияние гербицида на рост растений золотарника спустя два месяца после обработки:
 1 – начало формирования корневищ у контрольных растений,
 2 – засыхание верхушки побега у опытных растений

Fig. 4 The effect of herbicide on the growth of goldenrod plants two months after treatment:
 1 – the beginning of the formation of rhizomes in control plants,
 2 – drying of the top of the shoot in experimental plants

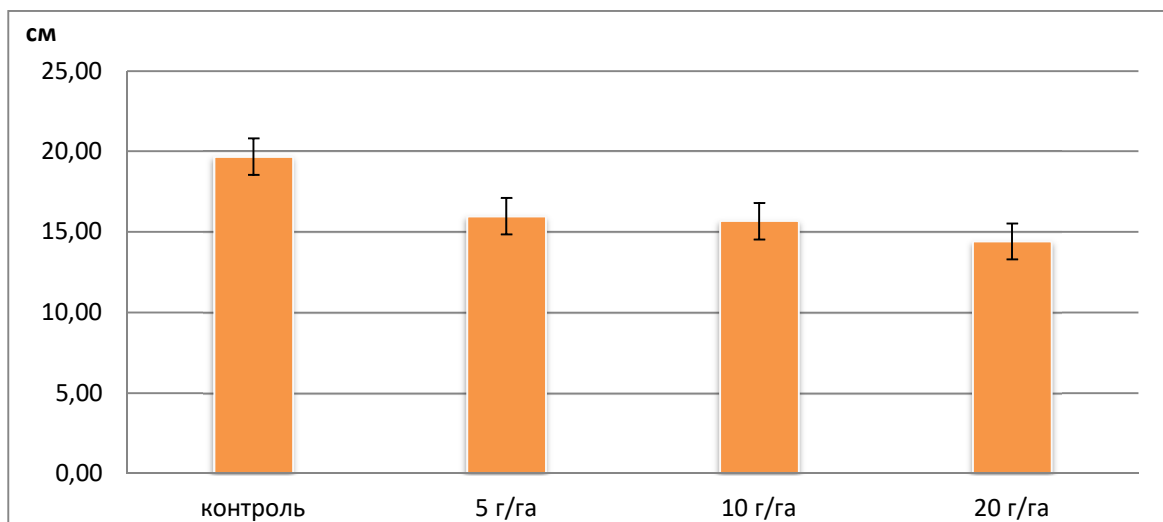


Рис. 5. Длина корней золотарника канадского спустя 2 месяца после обработки гербицидом

Fig. 5. The length of the roots of the Canadian goldenrod 2 months after herbicide treatment

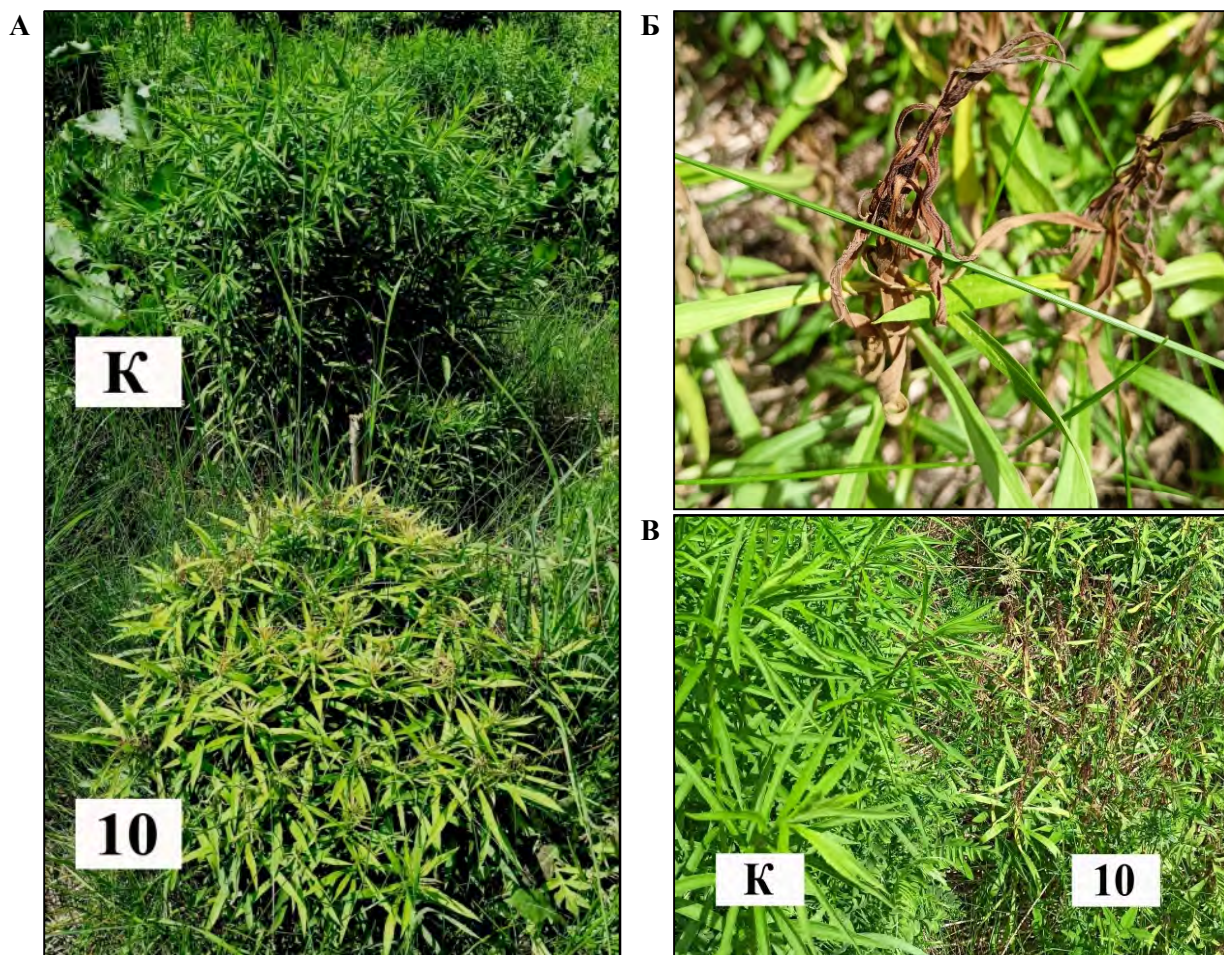


Рис. 6. Влияние гербицида на рост растений золотарника в полевом опыте:

А – общий вид растений через 2 недели после обработки гербицидом в дозе 10 г/га и контрольных растений (К);
 Б – усыхание верхушки растения через месяц после обработки; В – общий вид растений через месяц после
 обработки гербицидом в дозе 10 г/га и контрольных растений (К)

Fig. 6. Herbicide effect on goldenrod plant growth in field experiment:

А – general appearance of plants 2 weeks after treatment with herbicide at a dose of 10 g/ha and control plants (K);
 Б – drying of the top of the plant a month after treatment; В – the general appearance of plants a month after treatment
 with a herbicide at a dose of 10 g/ha and control plants (K)

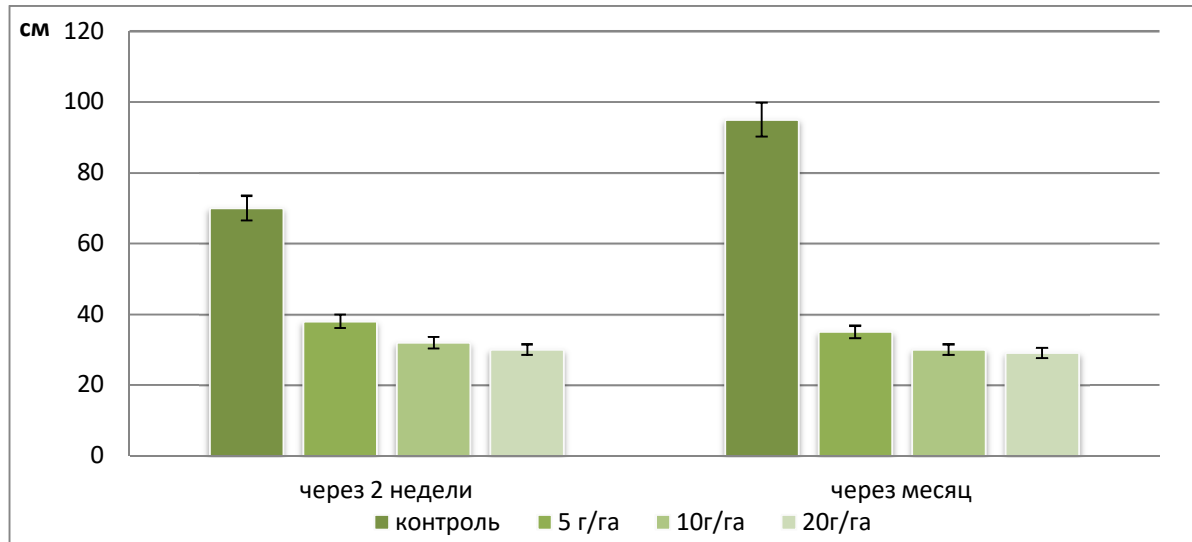


Рис. 7. Высота обработанных и контрольных растений золотарника канадского в полевом опыте

Fig. 7. Height of treated and control plants of Canadian goldenrod in the field experiment

На рис. 7 отчетливо видно, что у обработанных гербицидом растений наблюдается полная остановка роста – показатели высоты растений через 2 недели и через месяц после обработки совершенно одинаковые, в то время как у контрольных растений высота за 2 недели увеличилась с приблизительно 70 см до 95 см.

Согласно данным, представленным на рис. 8, уже на 15-й день после обработки заметны отличия обработанных растений, которые были на 21% меньше по высоте по сравнению с контрольными. При этом по внешнему виду обработанные растения отличались от контрольных более светлой окраской листьев, что свидетельствует об эффективном, ингибирующем фотосинтез, действии гербицида. Через месяц разли-

чия по высоте составили уже 28%, через 1,5 – 43%, а через 2 месяца – 56% (рис. 9).

Некроз верхушечной почки в виде потемнения и засыхания стал заметен через месяц после обработки. Постепенное усыхание сверху вниз появляется по наземной части растения вплоть до корневища (см. рис. 9). Если у контрольных растений через месяц наступает активное цветение, то повреждение гербицидом апекса останавливает формирование генеративных органов у обработанных растений. Тем самым расселение с помощью семян золотарника канадского после обработки гербицидом не представляется возможным. Однако остается открытым вопрос вегетативного размножения, благодаря активному росту побегов из почек возобновления на корневищах.

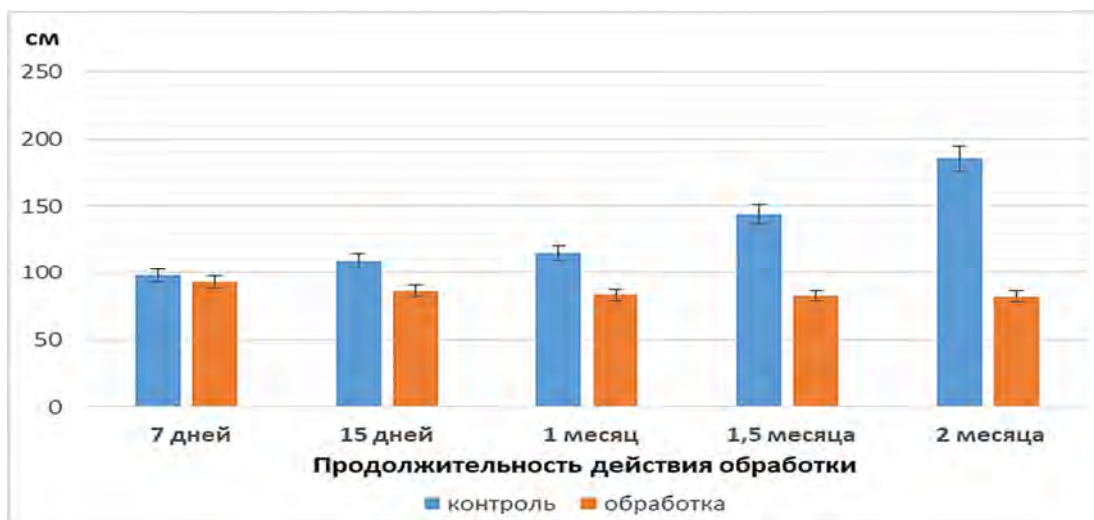


Рис. 8. Высота контрольных и обработанных нескошенных растений золотарника канадского в полевом опыте

Fig. 8. Height of the control and treated uncut plants of the Canadian goldenrod in the field experiment



Рис. 9. Влияние гербицида Магнум на рост растений золотарника канадского в полевом опыте: А – через 2 недели после обработки; Б – через месяц после обработки; В – через 1,5 месяца после обработки; Г – через 2,5 месяца после обработки; К – контроль; О – вариант с обработкой

Fig. 9. The effect of the herbicide magnum on the growth of Canadian goldenrod plants in the field experiment: А – 2 weeks after treatment; Б – a month after processing; В – 1.5 months after treatment: Г – 2.5 months after treatment; К – control; О – option with processing

Следует отметить, что различий при обработке растений золотарника гербицидом Магнум в дозах 5 г/га и 10 г/га замечено не было. Таким образом, использование гербицида и в дозе 5 г/га является приемлемым, т.к. гербицидная нагрузка на почву в этом случае значительно меньше.

Одновременно проведен опыт по исследованию эффективности совмещения обработок гербицидом с кошением популяций золотарника на фазе интенсивного роста растений (фаза бутонизации) в полевых условиях. Растения скашивали на высоте 15-20 см над поверхностью поч-

вы и обрабатывали через неделю после кошения, когда тронулись в рост почки, расположенные в пазухах листьев на оставшейся части надземного побега (рис. 10).

Было хорошо заметно, что у контрольных растений просто кошение стимулирует рост боковых почек за счет отсутствия апикальной. Это несколько смещало сроки образования генеративных органов. Однако уже через 2,5 месяца у скошенных растений формировались соцветия, и они зацвели, как и контрольные без кошения (см. рис. 10).

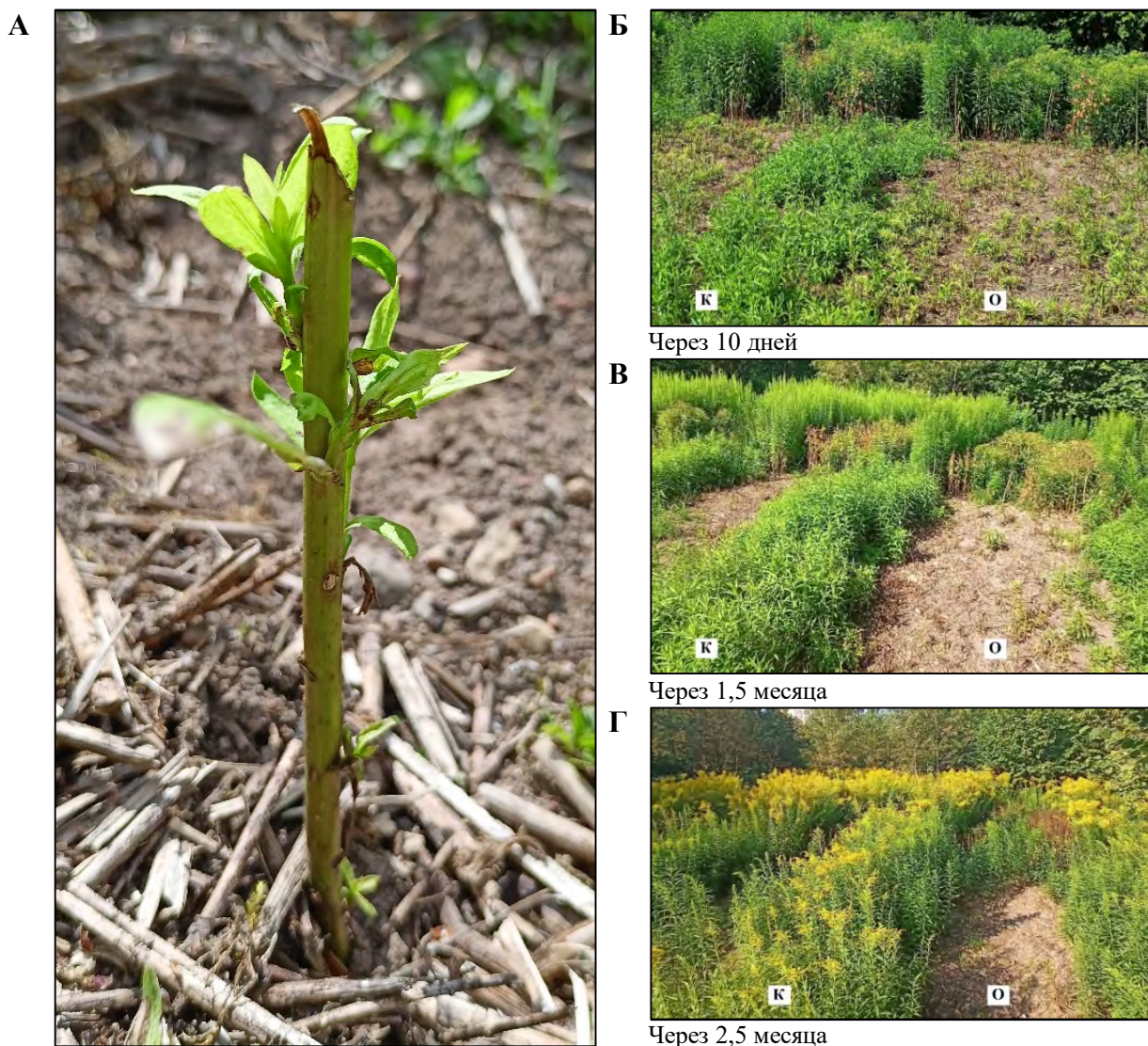


Рис. 10. Влияние гербицида на рост скошенных растений золотарника в полевом опыте: А – рост боковых почек после кошения контрольных растений. Общий вид скошенных контрольных и обработанных растений: Б – через 10 дней после обработки гербицидом; В – через 1,5 месяца после обработки гербицидом; Г – через 2,5 месяца после обработки гербицидом

Fig. 10. The effect of herbicide on the growth of mown goldenrod plants in the field experiment: А – the growth of lateral buds after mowing control plants. General view of mown control and treated plants: Б – 10 days after herbicide treatment; В – 1.5 months after herbicide treatment; Г – 2.5 months after herbicide treatment

Наибольший эффект получен при обработке растений гербицидом после кошения (см. рис. 10). Как и в опытах с нескошенными растениями первые морфологические изменения были видны уже через 2 недели в виде потемнения оставшегося после кошения стебля, визуально отмечается остановка роста боковых почек. Делянки со скошенными и обработанными затем растениями имели вид участков с засохшими растениями. Контрольные скошенные растения активно накапливали вегетативную массу и переходили к генеративному периоду развития, в то время как опытные скошенные растения постепенно теряли фотосинтезирующие органы.

Существенные изменения происходили и в подземном метамерном комплексе.

На рис. 11 показан внешний вид контрольного скошенного растения и трех скошенных и обработанных растений различной степени развития. Обращает на себя внимание практически полное отсутствие живых органов и тканей у обработанных растений, их активное разложение, особенно корневищ, на уровне почвы и в почве через месяц после обработки.

На основе полученных данных предыдущего опыта, нами была поставлена цель выявить наиболее эффективные сроки обработки растений гербицидом после кошения.

Для этого проводили обработку после кошения в несколько сроков: 1-й – через 15 дней после кошения, 2-ой – через месяц после кошения и 3-й – через 1,5 месяца после кошения (рис. 12).

Полученные результаты позволяют сделать предварительный вывод, что обработка гербици-

дом угнетает рост растений независимо от времени обработки после кошения (см. рис. 12). При обработке растений через 15 дней после кошения уже через 2,5 месяца после обработки в почве остались только отмирающие корневища.



Рис. 11. Внешний вид скошенных контрольного (К) и обработанных (О) растений с признаками активного разложения

Fig. 11. Appearance of the mown control (K) and treated (O) plants with signs of active decomposition



Через 1 месяц после обработки



Через 2,5 месяца после обработки

Рис. 12. Общий вид участков с растениями золотарника в 1-ом варианте (обработка через 15 дней после кошения)

Fig. 12. General view of areas with goldenrod plants in the 1st variant (treatment 15 days after mowing)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных опытов, целью которых являлось исследование влияния кошения и последующей обработки гербицидом на рост растений золотарника, установлено, что при скашивании растений происходит усиленное формирование боковых побегов, что указывает на малую эффективность искоренения данных инвазивных видов путем кошения. Однако использование кошения с последующей обработкой отрастающих растений гербицидом приводит к быстрому и полному отмиранию растений.

В опытах с определением сроков обработки растений после кошения выявлено, что обработка угнетает рост растений независимо от времени ее проведения. Вместе с тем можно предположить, что, чем больше вегетативной массы накопили растения, тем больше расход рабочего раствора гербицида и времени, необходимого на уничтожение надземной массы вместе с подземным метамерным комплексом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морфофизиология и экология подземного метамерного комплекса длиннокорневищных растений / С. П. Маслова [и др.]. – М.: Наука, 2015. – 158 с.
2. Картель, Н. А. Генетика. Энциклопедический словарь / Н. А. Картель, Е. Н. Макеева, А. М. Мезенко. – Мн.: Тэхналогія, 1999. – 448 с.
3. Злобин, Ю. А. Популяционная экология растений; современное состояние, точки роста; монография / Ю. А. Злобин. – Сумы: Университетская книга, 2009 – 263 с.
4. Шкляревская, О. А. Применение гербицидов на основе сульфометурон-метила для снижения численности *Solidago canadensis* L. и *Erigeron canadensis* L. / О. А. Шкляревская, Е. А. Якимович // Защита растений. – 2022. – №. 45. – С. 89–95.
5. Бакей, С. К. Региональные особенности борьбы с инвазией видов золотарника средствами защиты растений в Беларуси / С. К. Бакей [и др.] // Вопросы степеведения. – 2023. – №. 1. – С. 53–64.
6. Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Москва, Бот.сад МГУ, 10–11 февраля 2022г.) / отв. ред. В. В. Чуб. – М.: Изд-во МГУ, 2022. – 494 с
7. Ламан, Н. А. Методология и способы ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков / Н. А. Ламан [др.] / Институт экспериментальной ботаники имени ВФ Купревича. - Минск: БелНИИТ «Гранстехника». – 2020. – 52 с.
8. Ламан, Н. А. Морфологические особенности растений золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) в виргинильном периоде развития / Н. А. Ламан [и др.] // Ботаника (исследования): сборник научных трудов. Вып. 51 / Институт экспериментальной ботаники. – Минск: Колорград, 2022. – С. 176–180.
9. Ламан, Н. А. Морфологические особенности генеративной сферы аборигенного и инвазивных видов золотарника (*Solidago* L.) / Н. А. Ламан [и др.] // Ботаника (исследования): сборник научных трудов. Вып. 51 / Институт экспериментальной ботаники. – Минск: Колорград, 2022. – С. 181–187.
10. Прохоров, В. Н. Золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.): биологические особенности, хозяйственное использование и меры ограничения распространения/ В. Н. Прохоров, Н. А. Ламан // Ботаника (исследования): сборник научных трудов. – Минск: Колорград, 2018. – Вып. 47. – С. 150–168.
11. Szymura, M. Morphological and cytological diversity of goldenrods (*Solidago* L. and *Euthamia* Nutt.) from south-western Poland / M. Szymura // Biodiversity Research and Conservation, 2015. – Vol. 38. – №. 1. – P. 41–49.
12. Szymura, M. Leaf epidermis traits as tools to identify *Solidago* L. taxa in Poland/ M. Szymura, K. Wolski // Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica, 2011. – Vol. 53. – № 1. – P. 38–46.
13. Szymura, M. Soil preferences and morphological diversity of goldenrods (*Solidago* L.) from south-western Poland / M. Szymura, T. H. Szymura // Acta societatis botanicorum Poloniae, 2013. – Vol. 82. – №. 2. – P.107–115.
14. Güsewell, S. Native and introduced populations of *Solidago gigantea* differ in shoot production but not in leaf traits or litter decomposition/ S. Güsewell, G. Jakobs, E. Weber // Functional Ecology, 2006. – Vol. 20 – P. 575–584.
15. Karpavičienė, B. Morphological and anatomical characterization of *Solidago niedereideri* and other sympatric *Solidago* species / B. Karpavičienė // Weed Science, 2016. – Vol. 64. – №. 1. – P. 61–70.

Поступила в редакцию 01.06.2023 г.

УДК 581.19; 581.14; 58.08

Н. А. ЕЛОВСКАЯ¹, Ж. Н. КАЛАЦКАЯ¹, Н. А. ЛАМАН¹, В. В. НИКОЛАЙЧУК²,
К. С. ГИЛЕВСКАЯ², В. И. КУЛИКОВСКАЯ², Р. П. ЗАКИРОВА³, С.М. ТАРАЕВА³

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И УСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОКЛОНОВ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* В УСЛОВИЯХ ОСМОТИЧЕСКОГО СТРЕССА ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНЬЮГАТОМ ХИТОЗАНА С ФЕРУЛОВОЙ КИСЛОТОЙ

¹Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: yaloukaya92@mail.ru

²Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

³Институт химии растительных веществ имени академика С. Ю. Юнусова АН Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Исследовано влияние конъюгата на основе хитозана и феруловой кислоты (Хит-ФК) на ростовые процессы и содержание пролина в стеблях микроклональных растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Бриз в культуре *in vitro* в оптимальных условиях и в условиях продолжительного осмотического стресса, вызванного высокомолекулярным полиэтиленгликолем (ПЭГ). В оптимальных условиях конъюгат хитозан-феруловая кислота оказал значительное стимулирующее действие на рост и развитие микроклонов, а в условиях стресса способствовал поддержанию роста корневой системы. Добавление хитозана в питательную среду выращивания вызвало развитие стрессовой реакции в микроклональных растениях, которая усугублялась при добавлении ПЭГ, о чем свидетельствовало замедление роста стебля, практически полная остановка роста корневой системы и значительное повышение содержания пролина в стеблях микроклонов. Феруловая кислота и ее механическая смесь с хитозаном в оптимальных условиях и в условиях стресса оказали неоднозначное действие, но стимулировали биопродукционные процессы микроклонов.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum* L.), конъюгат, хитозан, феруловая кислота, морфометрические показатели, пролин, *in vitro*.

N. A. YALOUSKAYA¹, J. N. KALATSKAJA¹, N. A. LAMAN¹, V. V. NIKALAICHUK²,
K. S. HILEUSKAYA², V. I. KULIKOVSKAYA², R. P. ZAKIROVA³, S. M. TURAeva³

GROWTH CHARACTERISTICS AND OSMOTIC STRESS RESISTANCE OF POTATO MICROCLONES (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) TREATED WITH CHITOSAN AND FERULIC ACID *IN VITRO* CULTURE

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: yaloukaya92@mail.ru

²Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

³Acad. S. Yu. Yunusov Institute of the Chemistry of Plant Substances AS RUz, Tashkent, Uzbekistan

Annotation. The article considers the effect of the conjugate based on chitosan and ferulic acid (Chit-FA) on growth processes and proline content in the stems of microclonal potato plants (*Solanum tuberosum* L.) of the Breeze variety in *in vitro* culture under optimal conditions and under prolonged osmotic stress caused by high molecular weight polyethylene glycol. Under optimal conditions the chitosan-ferulic acid conjugate had a significant stimulating effect on the growth and development of potato microclones. In turn, under stress conditions the synthesized conjugate contributed to maintaining the growth of the root system. The addition of poor chitosan to the MS-media caused the stress response development in microclonal potato plants which was aggravated by the PEG addition as evidenced by a slowdown in stem growth, an almost complete cessation of root system growth and a significant increase in proline content in the stems of microclones. Ferulic acid and its mechanical mixture with chitosan had ambiguous effects and contributed to the accumulation of microclone biomass under optimal as well as stress conditions.

Keywords: potato (*Solanum tuberosum* L.), conjugate, chitosan, ferulic acid, morphometric parameters, proline, *in vitro*.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективность применения регуляторов роста на основе природных материалов определяется рядом преимуществ: доступностью сырья и низкой себестоимостью, экологической безопасностью вследствие практически нулевой токсичности для компонентов биоценоза, полифункциональностью действия, реализующегося через повышение устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных культур, а также невысокой нормой расхода [1, 2].

Активно ведется разработка регуляторов роста, содержащих в качестве действующего агента соединения вторичного метаболизма, которые принимают участие в регуляции многих процессов, в том числе в реализации защитных механизмов в ответ на стрессовое воздействие [3, 4]. Препараты на основе тритерпеновых кислот (Вэрва, Альфастим, Биосил, Экосил, Новосил), фенольных соединений (Жизнесил), флавоноидов (Вэрва-ель), оксикоричных кислот (Циркон, Домоцвет) применяют в качестве натуральных стимуляторов иммунитета и роста овощных, зерновых и технических культур, а также плодово-ягодных деревьев и кустарников [5–8].

Разработка препаратов на основе оксикоричных кислот сопряжена с определенными трудностями вследствие их низкой растворимости.

Однако получение конъюгатов на основе природных полимеров (например, хитозана) и оксикоричных кислот позволяет повысить устойчивость синтезированного соединения, улучшить его биодоступность для растения [9] и усилить антиоксидантные (АО) свойства за счет совместного действия компонентов конъюгата [10, 11].

Хитозан – частично деацетилированное производное хитина, структурного макрокомпонента экзоскелета членистоногих и артропод [12, 13], представляет собой широко используемый биополимер. Популярность хитозана объясняется биосовместимостью [14], биоразлагаемостью [15], нетоксичностью [16], а также способностью стимулировать рост, развитие и устойчивость растений [17, 18].

Таким образом, химическая модификация хитозана оксикоричными кислотами позволяет усилить первоначальные свойства компонентов или получить продукт с новыми свойствами.

Цель нашей работы заключалась в исследовании влияния конъюгата на основе хитозана и феруловой кислоты на процессы роста и накопление пролина микроклонов картофеля в культуре *in vitro* в оптимальных условиях и в условиях осмотического стресса.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – растения-регенеранты картофеля (*Solanum tuberosum* L.) коллекции НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству.

Материнские растения картофеля, оздоровленные методом апикальных меристем, клонировали в стерильных условиях ламинар-бокса «Белаквилон» (Беларусь) на питательную среду Мурасиге-Скуга (МС-среда). Микрочеренки выращивали в течение 4-х недель при температуре 23–25°C в условиях искусственного освещения интенсивностью 3 тыс. люкс и при 16-часовом фотопериоде, после чего проводили измерение морфометрических параметров и замену стандартной МС-среды на модифицированные, содержащие конъюгат хитозан-феруловая кислота (Хит-ФК), отдельные соединения (хитозан, феруловая кислота) и механическую смесь хитозана и феруловой кислоты (Хит+ФК) в концентрации 0,025 мг/мл.

Конъюгат хитозана с ФК получали карбодимидным методом по методике, описанной в работе [19]. Для синтеза конъюгатов использовали хитозан с $M_v \sim 30$ кДа, степенью деацетилирования 98,3% и полимеризации 186 «Glenth-

am Life Sciences» (Великобритания), ФК ($M = 194,18$ г/моль, «Sigma-Aldrich», США) и 1-этил-3-(3-диметиламинопропил) карбодимид гидрохлорид (EDC, «Sigma-Aldrich»).

Осмотический стресс создавали добавлением в МС-среду высокомолекулярного полиэтиленгликоля (ПЭГ) с $M \sim 6000$ в концентрации 5% [20].

На модифицированных МС-средах микроклоны выращивали в течение 2-х недель, после чего проводили повторное измерение морфометрических параметров и определяли содержание пролина в стеблях.

Содержание пролина определяли по цветной реакции с нингидрином согласно методу [21]. Длину стебля и корней измеряли с помощью линейки, массу – путем взвешивания на аналитических весах. Относительную скорость роста рассчитывали по формуле:

$$v_{\text{рост}} = (a_2 - a_1) / (t * a_1) * 100\%$$

где $v_{\text{рост}}$ – относительная скорость роста, % / сутки;
 a_1 – длина стебля при первом измерении, см;
 a_2 – длина стебля при втором измерении, см;
 t – время, сутки.

Статистическую обработку данных проводили при помощи программы Statistics 22. Для определения характера распределения использовали критерий Колмогорова-Смирнова. Оценку различий между группами выполняли при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим применением апостериорного теста (расчет критерия Дунка-

на). Результаты представлены в виде $M \pm Sd$ (где M – это среднее арифметическое значение, Sd – стандартное отклонение) 3-х биологических повторностей. В качестве критического уровня значимости использовали $p \leq 0,05$. Разные буквы латинского алфавита (*a, b, c, d*) свидетельствуют о наличии достоверной разницы между вариантами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для пересадки на модифицированные МС-среды проводили отбор микроклонов со стандартными параметрами (рис. 1): длина стебля ($7,8 \pm 0,13$ см), длина корней ($2,4 \pm 0,02$ см), число междоузлий ($9,2 \pm 0,08$ шт.), число корней ($8,9 \pm 0,06$ шт.).

Для оценки развития микроклональных растений в культуре *in vitro* используют такие параметры как длина стебля и число сформированных метамеров (междоузлий). Добавленный в среду культивирования конъюгат Хит-ФК стимулировал рост стебля (на 33,3%) и закладку большего числа междоузлий (на 16,4%), а также накопление сырой (на 16,6%) и сухой (на 25,7%) биомассы микроклонов картофеля по сравнению с контролем (табл. 1).

Хитозан, добавленный в МС-среду, оказал негативный эффект на рост и развитие микроклонов, о чем свидетельствовало снижение длины стебля на 18,5% и числа междоузлий на 10,0% по отношению к контролю (см. табл. 1).

ФК и смесь Хит+ФК оказали неоднозначный эффект. Так, под действием ФК длина стебля снизилась на 15,7%, однако наблюдалось стимулирование формирования междоузлий (на 5,5%) и накопление биомассы стебля (на 15,1% сырой и на 36,1% сухой) по сравнению с контрольными микроклубнями (см. табл. 1). Под действием смеси Хит+ФК отмечено снижение длины стебля (на 7,4%) и числа междоузлий (на 4,5%), но усиление накопления сухого вещества (на 14,1%) в стеблях микроклонов по сравнению с контролем (см. табл. 1).



Рис. 1. Внешний вид микроклонов картофеля после выращивания на модифицированных МС-средах в течение 2-х недель

Fig. 1. The potato microclonal plants appearance after growing on the modified MS media for two weeks

Таблица 1. Морфометрические показатели микроклонов картофеля, культивируемых на модифицированных МС-средах с добавлением хитозана и феруловой кислоты**Table 1.** The morphometric parameters of potato microclonal plants cultivated on the modified by chitosan and ferulic acid compounds MS media

Показатель	Вариант				
	Контроль	Хитозан	ФК	Хит+ФК	Хит-ФК
Длина стебля, см	10,8±0,15 ^a	8,8±0,09 ^b	9,1±0,11 ^b	10,0±0,09 ^c	14,4±0,40 ^d
Число междоузлий, шт.	11,0±0,20 ^a	9,9±0,23 ^b	11,6±0,20 ^c	10,5±0,23 ^d	12,8±0,14 ^c
Сырая масса стебля, мг	230,4±11,91 ^a	169,7±4,64 ^b	265,2±4,85 ^c	227,9±8,84 ^a	268,6±7,15 ^c
Сухая масса стебля, мг	19,1±0,99 ^a	16,8±0,46 ^b	26,0±0,48 ^c	21,8±0,85 ^d	24,0±0,64 ^c
Длина корней, см	2,9±0,05 ^a	2,6±0,15 ^b	2,5±0,21 ^b	2,8±0,08 ^a	3,2±0,13 ^c
Число корней, шт.	13,7±0,12 ^a	9,3±0,23 ^b	13,9±0,23 ^a	12,5±0,12 ^c	14,8±0,20 ^d
Сырая масса корней, мг	83,8±1,40 ^a	72,3±2,10 ^b	114,1±2,95 ^c	104,2±5,86 ^d	222,0±4,69 ^c
Сухая масса корней, мг	6,8±0,09 ^a	6,7±0,06 ^b	11,6±0,30 ^c	10,2±0,57 ^d	18,5±0,39 ^c

Примечания: Микроклоны выращивали на модифицированных МС-средах в течение 2 недель. Буквы латинского алфавита (a, b, c, d) обозначают достоверные различия между вариантами согласно тесту Дункана, $p < 0,05$

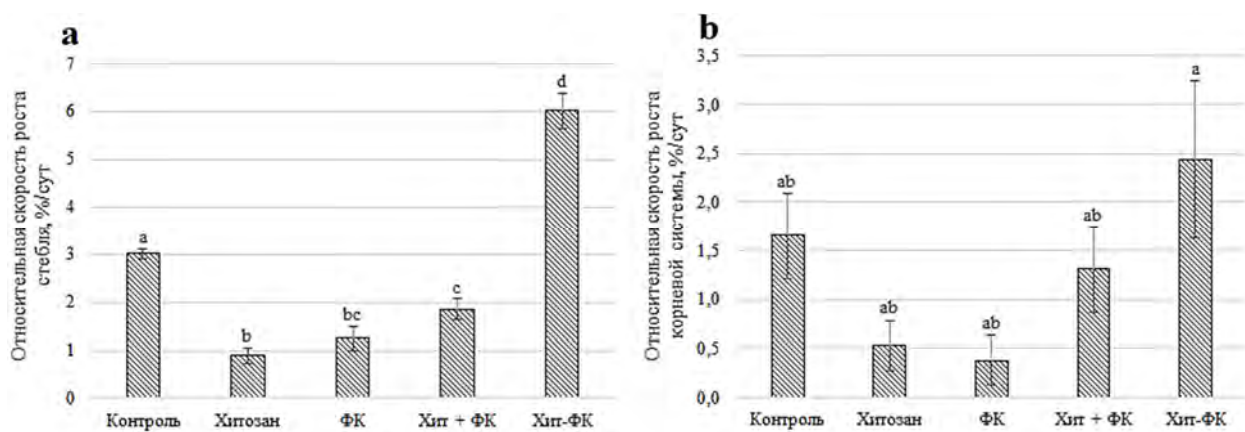
Наиболее важным показателем, характеризующим развитие микроклональных растений, считается процесс ризогенеза. Хорошо развитая корневая система способствует повышению приживаемости на этапе адаптации к нестерильным условиям и ускоряет дальнейшее развитие. Конъюгат Хит-ФК стимулировал процесс корнеобразования микроклонов, о чем свидетельствует увеличение длины и числа корней, а также их сырой и сухой биомассы по отношению к контролю (см. табл. 1).

Хитозан вызвал снижение длины и числа корней микроклонов по сравнению с контролем, однако не оказал влияния на накопление биомассы. ФК и смесь Хит+ФК, в свою очередь, стимулировали накопление как сырого, так и сухого вещества (см. табл. 1).

Относительная скорость роста (ОСР) характеризует относительное изменение исследуемо-

го параметра (например, высоты стебля, длины корневой системы, биомассы) за определенный промежуток времени и является дополнением к абсолютным значениям величины, что позволяет более полно оценить влияние исследуемых соединений на активность ростовых процессов микроклонов [22].

Конъюгат Хит-ФК увеличил относительную скорость роста стебля (ОСР_h) микроклонов картофеля в 2,0 раза по сравнению с контрольными растениями (рис. 2а). Хитозан, ФК и смесь Хит+ФК снизили исследуемый показатель, причем значительное снижение зафиксировано для варианта Хитозан – в 3,4 раза относительно контроля (см. рис. 2а). В то же время исследуемые соединения, добавленные в МС-среду, по отдельности не оказали достоверного воздействия на относительную скорость роста корневой системы (ОСР_l) (рис. 2б).

**Рис. 2.** Относительная скорость роста (ОСР) микроклонов картофеля

ОСР_h – относительная скорость роста стебля микроклонов (а) и ОСР_l – относительная скорость роста корневой системы микроклонов картофеля (б) после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-средах

Fig. 2. The relative growth rate (RGR) of potato microclonal plants.

RGR_h – the relative stem growth rate of microclones (a) and RGR_l – the relative growth rate of the microclones' root system after two weeks cultivation on the modified MS media

Отношения длины корней к длине стебля ($K_{\text{длина}}/C_{\text{длина}}$) и массы корневой системы к массе стебля ($K_{\text{масса}}/C_{\text{масса}}$) являются важными показателями для оценки развития растений и чувствительным индикатором стресса, вызываемого действием агентов химической природы [23].

Хитозан не изменял отношение $K_{\text{масса}}/C_{\text{масса}}$ микроклонов (рис. 3а) и стимулировал увеличение отношения $K_{\text{длина}}/C_{\text{длина}}$ (на 21%) по сравнению с контролем (рис. 3б), тогда как микроклоны варианта Хит-ФК характеризовались увеличением отношения $K_{\text{масса}}/C_{\text{масса}}$ (см. рис. 3а) и уменьшением $K_{\text{длина}}/C_{\text{длина}}$ по сравнению с контролем (на 16,4%) (см. рис. 3б).

Одной из общих физиологических реакций растительного организма на неблагоприятное воздействие окружающей среды является увеличение содержания эндогенного пролина.

Применение ФК, смеси Хит+ФК и конъюгата Хит-ФК не оказали влияния на содержание пролина в стеблях микроклонов картофеля, в то время как Хитозан вызвал накопление аминокислоты в 2,0 раза по сравнению с контролем (рис. 4).

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что отдельные соединения (Хитозан, ФК и их механическая смесь Хит+ФК), используемые в качестве дополнительных контролей и добавленные в МС-среду, оказывают неоднозначный эффект на исследуемые параметры микроклональных растений.

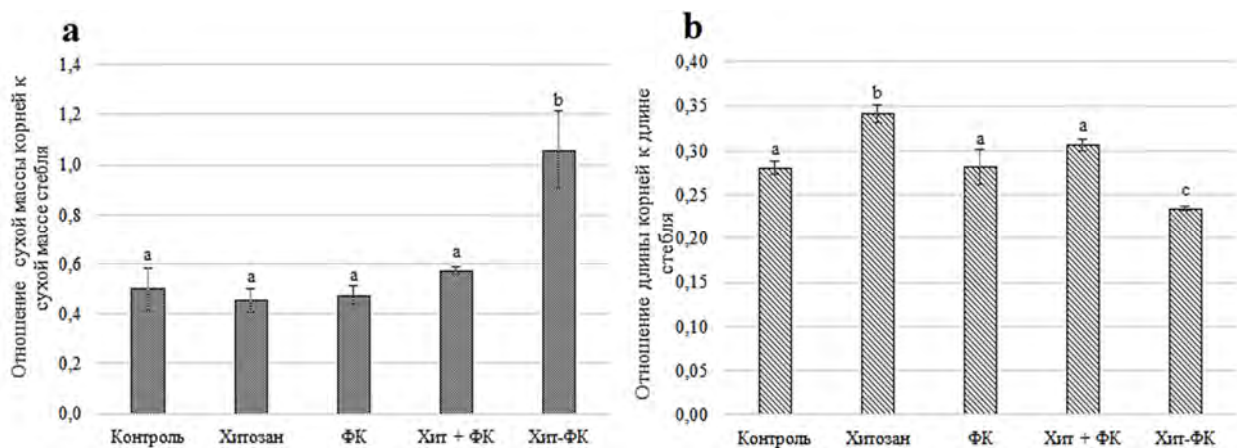


Рис. 3. Отношение сухой массы корней к сухой массе стебля (а) и отношение длины корней к длине стебля (б) микроклонов картофеля после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-средах

Fig. 3. The root-to-shoot dry weight ratio (a) and the root-to-shoot length ratio (b) of potato microclonal plants after two weeks cultivation on the modified MS media

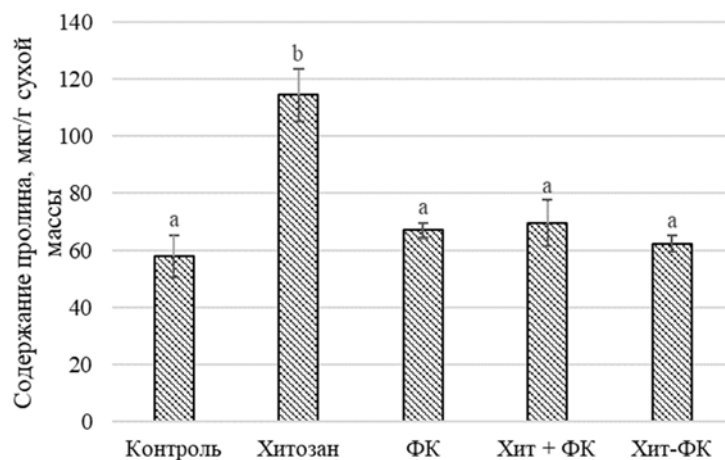


Рис. 4. Содержание пролина в стеблях микроклонов картофеля после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-средах

Fig. 4. The proline content of potato microclones' stems after two weeks cultivation on the modified MS media

Хитозан замедляет рост и развитие микроклонов, а также относительную скорость роста стебля ($ОСР_h$), при этом значительно повышая содержание пролина как по сравнению с контролем (в 2,0 раза), так и по сравнению с другими опытными вариантами. Усиление синтеза и накопление пролина в совокупности с торможением ростовых процессов микроклонов под воздействием хитозана, вероятно, связано с индуцируемой им стресс-реакцией [24]. Остатки N-ацетилглюкозамина и глюкозамина, формирующие структуру хитозана, способны взаимодействовать с клеточными компонентами, изменяя нормальное протекание физиологических процессов и запуская сигнальную цепь защитных реакций [25, 26].

ФК и в меньшей степени смесь Хит+ФК стимулируют накопление биомассы микроклонов, замедляя ростовые процессы. При этом содержание пролина в стеблях микроклональных растений картофеля остается на уровне контрольных растений. Оксикоричные кислоты (кофейная, феруловая, галловая), как представители фенилпропаноидов, способны влиять на многие физиологические процессы растений [27].

Феруловая кислота является одним из компонентов клеточной стенки растений, повышающая ее прочность и ограничивающая рост растяжением в процессе формирования [28]. Вероятно, ингибирующее действие ФК на ростовые процессы микроклонов картофеля связано с усилением клеточной стенки за счет включения в ее структуру и образования поперечных связей между полимерами, что показано также и в работе [29].

Добавленный в МС-среду конъюгат Хит-ФК стимулирует ростовые процессы и накопление биомассы микроклонов картофеля, причем значительный эффект конъюгат оказывает на высоту стебля и $ОСР_h$, увеличивая относительную скорость роста в 2,0 раза по сравнению с контролем. Оказываемый конъюгатом выраженный стимулирующий эффект на микроклональные растения картофеля, вероятно, связан со структурой молекулы. При синтезе конъюгата происходит связывание хитозана и феруловой кислоты за счет образования ковалентной связи между атомом кислорода гидроксильной группы кислоты и азотом аминогруппы хитозана, что уменьшает число свободных аминогрупп и элиситорные свойства хитозана [30], но стабилизирует оксикоричную кислоту. Аналогичный эффект конъюгатов на основе хитозана и представителей фенольных соединений на процессы роста и развития были продемонстрированы для огурцов [19], ячменя [31], пшеницы [32].

Исследовано также влияние конъюгата хитозана с феруловой кислотой на рост и развитие микроклональных растений картофеля в условиях продолжительного абиотического (осмотического) стресса.

Для пересадки на модифицированные МС-среды в условиях осмотического стресса проводили отбор микроклонов со стандартными параметрами: длина стебля ($7,8 \pm 0,09$ см), длина корней ($2,3 \pm 0,05$ см), число междоузлий ($9,2 \pm 0,12$ шт.), число корней ($9,0 \pm 0,03$ шт.).

После 2-недельного воздействия осмотического стресса рост стебля микроклонов замедлился во всех опытных вариантах как по сравнению с оптимальным контролем, так и по сравнению со стрессовым контролем (ПЭГ) (рис. 5).

В условиях стресса развитие микроклональных растений картофеля ингибировалось, о чем свидетельствовало снижение числа междоузлий в опытных вариантах по отношению к оптимальному контролю. При добавлении в МС-среду смеси Хит+ФК и конъюгата Хит-ФК число междоузлий микроклонов увеличилось на 12,8 и 7,4% по сравнению со стрессовым контролем (ПЭГ) (табл. 2).

Одновременно фиксировали снижение накопления сырой и сухой биомассы стеблей микроклонов картофеля во всех опытных вариантах в условиях стресса, причем наиболее низкими значениями характеризовались варианты Хитозан и Хит+ФК (см. табл. 2).

У опытных вариантов наблюдалась практически полная остановка роста корневой системы и частичное разрушение корней. При этом, конъюгат Хит-ФК способствовал поддержанию роста корневой системы микроклонов, хотя длина и число корней были ниже значений оптимального контроля, но на 17,4 и 16,9% выше стрессового контроля (ПЭГ) (см. табл. 2).

В условиях стресса хитозан тормозил накопление сырой биомассы, но не оказал воздействие на сухую биомассу по отношению к 2-м контролям (см. табл. 2). В варианте Хит+ФК сырая масса корней снизилась по отношению к оптимальному контролю на 24,1%, но увеличилась на 16,9% по сравнению с ПЭГ. В то же время отмечено накопление сухого вещества по сравнению с обоими контролями (на 31,4 и 16,5% соответственно) (см. табл. 2). Внесенные в МС-среду ФК и конъюгат Хит-ФК способствовали накоплению сырой и сухой биомассы корней по отношению к оптимальному контролю (на 13,5 и 70,0% для ФК и на 38,4 и 114,3% для Хит-ФК) и стрессовому контролю (на 74,8 и 50,6% для ФК и на 113,2 и 89,9% для Хит-ФК) (см. табл. 2).

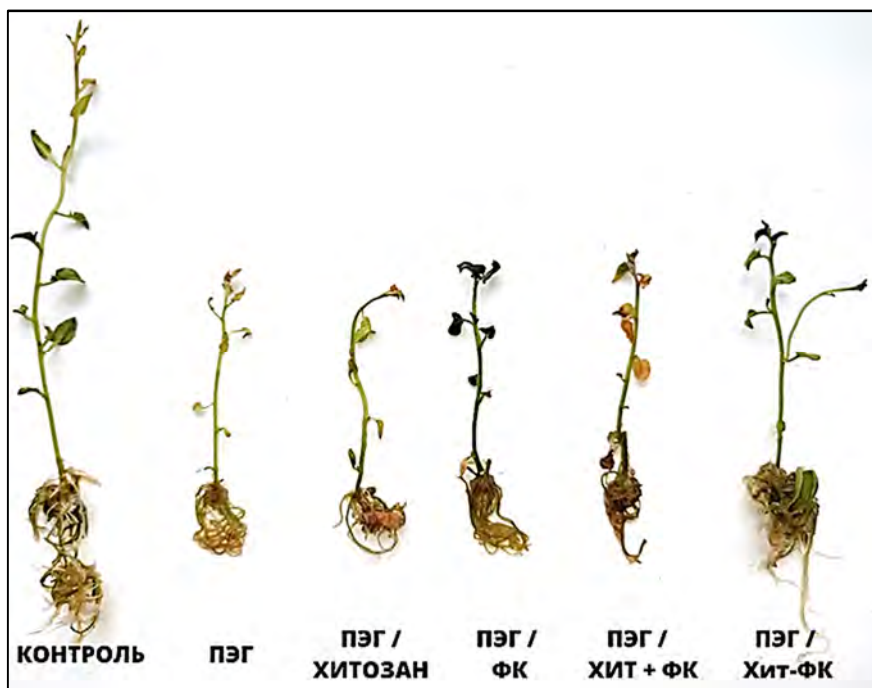


Рис. 5. Внешний вид микроклонов картофеля после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-среда в условиях осмотического стресса

Fig. 5. The potato microclonal plants appearance after growing on the modified MS media under osmotic stress for two weeks

Таблица 2. Морфометрические показатели микроклонов картофеля, культивируемых на модифицированных МС-средах с добавлением соединений хитозана и феруловой кислоты в условиях осмотического стресса

Table 2. The morphometric parameters of potato microclonal plants cultivated on the modified by chitosan and ferulic acid compounds MS media under osmotic stress

Показатель	Вариант					
	Контроль	ПЭГ	ПЭГ / Хитозан	ПЭГ / ФК	ПЭГ / Хит + ФК	ПЭГ / Хит-ФК
Длина стебля, см	10,8±0,15 ^a	8,7±0,24 ^b	7,8±0,26 ^c	7,9±0,27 ^c	8,0±0,25 ^c	8,1±0,13 ^c
Число междоузлий, шт.	11,0±0,20 ^a	9,4±0,20 ^b	9,5±0,12 ^b	9,5±0,12 ^b	10,6±0,20 ^c	10,1±0,12 ^d
Сырая масса стебля, мг	230,4±11,91 ^a	143,1±4,91 ^b	116,1±5,94 ^c	138,4±2,09 ^b	96,8±4,00 ^d	147,8±2,23 ^b
Сухая масса стебля, мг	19,1±0,99 ^a	16,8±0,58 ^b	13,1±0,67 ^c	17,7±0,27 ^b	11,5±0,47 ^d	17,2±0,26 ^b
Длина корней, см	2,9±0,05 ^a	2,3±0,22 ^b	2,3±0,19 ^b	2,3±0,14 ^b	2,3±0,15 ^b	2,7±0,04 ^c
Число корней, шт.	13,7±0,12 ^a	8,9±0,23 ^b	9,0±0,20 ^b	9,0±0,20 ^b	9,0±0,20 ^b	10,4±0,20 ^c
Сырая масса корней, мг	83,8±1,40 ^a	54,4±4,85 ^b	51,6±4,12 ^b	95,1±4,20 ^c	63,6±5,48 ^d	116,0±4,44 ^c
Сухая масса корней, мг	7,0±0,12 ^a	7,9±0,70 ^a	6,9±0,55 ^a	11,9±0,53 ^b	9,2±0,79 ^c	15,0±0,58 ^d

Примечание: Микроклоны выращивали в течение 4-х недель на стандартной МС-среде. Буквы латинского алфавита (a, b, c, d) обозначают достоверные различия между вариантами согласно тесту Дункана, $p \leq 0,05$.

Присутствие высокомолекулярного ПЭГ в среде культивирования вызвало снижение относительной скорости роста стебля микроклонов (OSR_h) в опытных вариантах как по отношению к оптимальному, так и по отношению к стрессовому контролю (ПЭГ), при этом отсутствовали достоверные различия между опытными вариантами (рис. 6a). Несмотря на замедление роста корневой системы, показатель OSR_1 в варианте

Хит-ФК оставался на уровне оптимального контроля (рис. 6b).

Многие исследования свидетельствуют о том, что в условиях водного дефицита увеличение рассматриваемого отношения $K_{длина}/C_{длина}$ и $K_{масса}/C_{масса}$ способствует улучшению способности корневой системы к поглощению воды и позволяет перераспределить токсические продукты [33; 34].

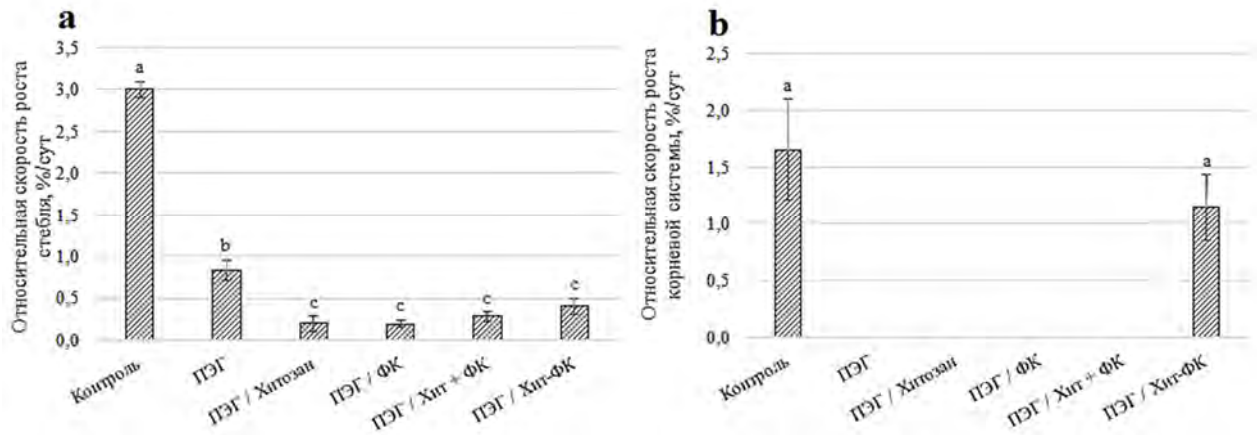


Рис. 6. Относительная скорость роста (ОСР) микроклонов картофеля после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-средах в условиях осмотического стресса: ОСР_h – относительная скорость роста стебля (а) и ОСР_r – относительная скорость роста корневой системы (б)

Fig. 6. The relative growth rate (RGR) of potato microclonal plants after cultivation on the modified MS media for two weeks under osmotic stress: RGR_h – the relative stem growth rate (a) and RGR_r – the relative growth rate of root system (b)

Под влиянием ФК, смеси Хит+ФК и конъюгата Хит-ФК увеличилось отношение $K_{\text{масса}}/C_{\text{масса}}$ по сравнению с оптимальным и стрессовым контролями, при этом отсутствовали достоверные различия между опытными вариантами Хит+ФК и Хит-ФК (рис. 7а). В условиях стресса Хитозан, ФК и их смесь Хит+ФК не оказали влияния на отношение $K_{\text{длина}}/C_{\text{длина}}$ по сравнению с оптимальным контролем, но увеличили по сравнению со стрессовым контролем (ПЭГ), тогда как конъюгат Хит-ФК увеличил исследуемый показатель по отношению к обоим контролям (в 1,2 и 1,6 раза соответственно) (рис. 7б).

Увеличение отношения $K_{\text{длина}}/C_{\text{длина}}$ (или $K_{\text{масса}}/C_{\text{масса}}$) в условиях стресса ассоциируется с устойчивостью [33]. Аналогичные изменения исследуемых отношений наблюдались в работах [35, 36], что может свидетельствовать о возможной протекторной роли синтезированного конъюгата в отношении корневой системы в условиях осмотического стресса.

Содержание пролина резко возрастало во всех опытных вариантах по сравнению с оптимальным контролем. Максимально высокое содержание пролина зафиксировано в варианте Хит+ФК как по сравнению с оптимальным контролем (в 3,1 раза), так и по отношению к стрессовому контролю (в 1,3 раза) (рис. 8).

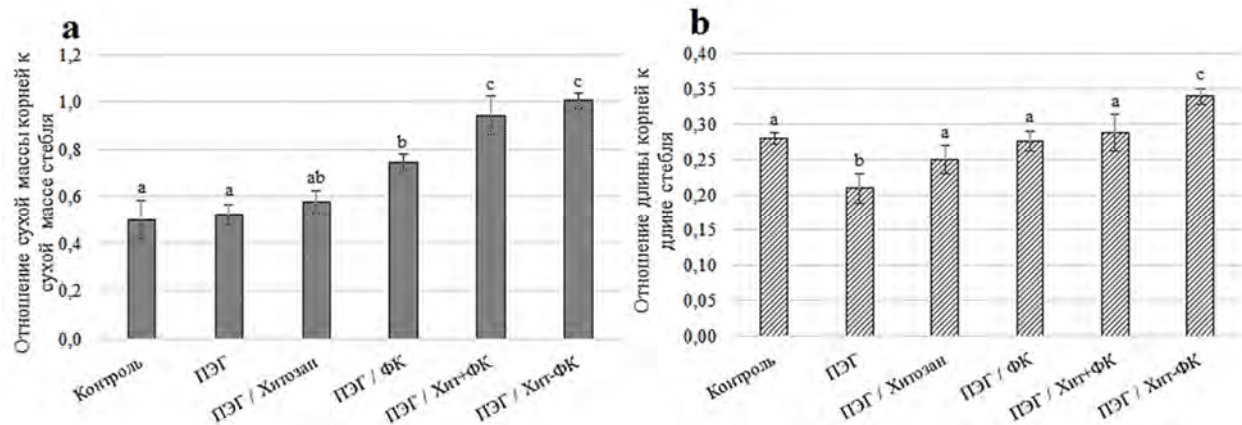


Рис. 7. Отношение сухой массы корней к сухой массе стебля (а) и отношение длины корней к длине стебля (б) микроклонов картофеля после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-средах в условиях осмотического стресса

Fig. 7. The root-to-shoot dry weight ratio (a) and the root-to-shoot length ratio (b) of potato microclonal plants after two weeks cultivation on the modified MS media under osmotic stress

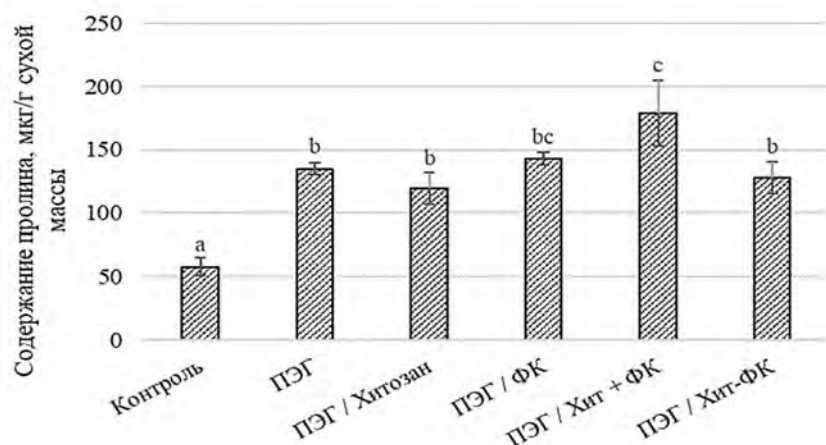


Рис. 8. Содержание пролина в стеблях микроклонов картофеля после 2-недельного выращивания на модифицированных МС-средах в условиях осмотического стресса

Fig. 8. The proline content of potato microclones' stems after two weeks cultivation on the modified MS media under osmotic stress

Известно, что при водном дефиците усиленное накопление пролина связано с его способностью уменьшать осмотический потенциал клетки, что позволяет компенсировать изменение водного потенциала окружающей среды [37].

Таким образом, Хитозан и механическую смесь Хит+ФК можно рассматривать как стрессовые факторы, сила воздействия которых увеличивается в условиях осмотического стресса и вызывает замедление роста микроклонов, а также накопление пролина. ФК и в большей степени конъюгат Хит-ФК способствуют активации адаптационных процессов микроклональных растений, направленных на усиление сопротивляемости, поддержание ростовых процессов и накопления биомассы в условиях продолжительного осмотического стресса, при этом также наблюдается повышение содержания пролина по сравнению с оптимальным контролем, но не по сравнению со стрессовым контролем.

Благодаря наличию в своей структуре гидроксильных групп и способности окисляться [38], оксикоричные кислоты характеризуются ярко выраженными антиоксидантными (АО) свойствами, что защищает растения от активных форм кислорода [39], образующихся в результате действия абиотического стресса [40]. Феруловая кислота в низких концентрациях не только оказывает стимулирующее действие на

рост и продуктивность растений [41, 42], но и активирует АО систему и способствует повышению устойчивости растений к стрессовым факторам окружающей среды [43].

Многие исследования демонстрируют рост и иммуностимулирующее свойства хитозана [13, 17, 18, 44]. В то же время биологически активные свойства хитозана и оказываемый им эффект детерминированы такими важными структурными параметрами, как степень деацетилирования и молекулярная масса [45], немаловажную роль играет концентрация, условия среды и вид растения [46, 47].

Замедление роста микроклонов под воздействием хитозана может быть связано с проявляемой элиситорной активностью, сила эффекта которой в условиях продолжительного стресса возрастает, что практически полностью ингибирует ростовые процессы микроклональных растений.

Благодаря ковалентному связыванию хитозана с фенольными соединениями уменьшается число свободных аминогрупп и, как следствие, ослабевают элиситорные свойства, а также происходит стабилизация фенольного соединения и усиление его АО активности [9], что в совокупности оказывает на растения ростстимулирующий эффект и способствует повышению их устойчивости в условиях стресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что добавленный в питательную среду конъюгат на основе хитозана и феруловой кислоты оказывает ростстимулирующий эффект, не вызывая изменения содержания пролина в стеблях микроклонов

картофеля в оптимальных условиях. В условиях продолжительного осмотического стресса, вызванного внесением в питательную среду высокомолекулярного полиэтиленгликоля, конъюгат хитозан-феруловая кислота способствует

поддержанию роста и накоплению биомассы микроклонов.

Хитозан в оптимальных условиях может действовать как стресс-фактор, на что указывает замедление роста и развития микроклонов и высокое содержание пролина в стеблях. В услови-

ях стресса негативное воздействие хитозана усиливается, о чем свидетельствует практически полная остановка ростовых процессов. Феруловая кислота и ее смесь с хитозаном в оптимальных условиях и в условиях стресса стимулируют биопродукционные процессы микроклонов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке международного гранта ГКНТ №Б21УЗБГ-019.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чукичева, И. Ю. Природные регуляторы роста растений из хвойного сырья / И. Ю. Чукичева, Т. В. Хуршайнен, А. В. Кучин // *Инноватика и экспертиза*. – 2018. – Вып. 3 (24). – С. 93–99.
2. Тулинов, А. Г. Применение препарата Вэрва-Ель на посадках картофеля / А. Г. Тулинов // *Защита и карантин растений*. – 2012. – № 3. – С. 16–18.
3. Прусакова, Л. Д. Роль фенольных соединений в растениях / Л. Д. Прусакова [и др.] // *Агрехимия*. – 2008. – № 7. – С. 86–96.
4. Calvo, P. Agricultural uses of plant biostimulants / P. Calvo, J. W. Kloepper // *Plant soil*. – 2014. – Col. 383. – P. 3–41.
5. Вильдфлуш, И. Р. Эффективность применения микроудобрений и регулятора роста Экосил при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / И. Р. Вильдфлуш, Н. Э. Хизанейшвили // *Почвоведение и агрохимия*. – 2021. – № 1, Вып. 66. – С. 120–128.
6. Радкевич, Т. В. Влияние препаратов Вапор Гард, Комплемент-В и Экосил на рост и плодоношение груши в интенсивном саду / Т. В. Радкевич, А. Г. Барановский // *Плодоводство*. – 2018. – Т. 30. – С. 56–61.
7. Борисов, В. А. Комплексное действие удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество овощных культур / В. А. Борисов [и др.] // *Картофель и овощи*. – 2022. – № 8. – С. 12–15.
8. Реут, А. А. Оценка значимости и рациональности применения препарата «Циркон» на цветочно-декоративных культурах в условиях Башкирского Предуралья / А. А. Реут [и др.] // *Аграрная Россия*. – 2019. – № 4. – С. 3–11.
9. Варламов, В. П. Хитин/хитозан и его производные: фундаментальные и прикладные аспекты / В. П. Варламов [и др.] // *Успехи биологической химии*. – 2020. – Т. 60. – С. 317–368.
10. Pasanphan, W. Chitosan gallate as a novel potential polysaccharide antioxidant: an EPR study / W. Pasanphan, G. R. Buettner, S. Chirachanchai // *Carbohydrate Research*. – 2010. – Vol. 345, Iss. 1. – P. 132–140.
11. Siripatrawan, U. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract / U. Siripatrawan, B. R. Harte // *Food Hydrocolloid*. – 2010. – Vol. 24. – P. 77–95.
12. Камская, В. Е. Хитозан: структура, свойства и использование / В. Е. Камская // *Научное обозрение. Биологические науки*. – 2016. – № 6. – С. 36–42.
13. Попова, Э. В. Биологическая активность хитозана с разной молекулярной массой / Э. В. Попова [и др.] // *Вестник защиты растений*. – 2017. – Т. 3 - Вып. 93. – С. 28–33.
14. Бакулин, А. В. Физико-химические характеристики хитозан-миелиновых комплексов / А. В. Бакулин [и др.] // *Труды Белорусского государственного университета. Серия: физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем*. – 2009. – Т. 4, № 2. – С. 290–297.
15. Vinsova, J. Chitosan derivatives with antimicrobial, antitumour and antioxidant activities – a review / J. Vinsova, E. Vavrikova // *Current Pharmaceutical Design*. – 2011. – Vol. 17. – P. 3596–3607.
16. Ahmed, K. B. M. Chitosan and its oligosaccharides, a promising option for sustainable crop production – a review / K. B. M. Ahmed [et al.] // *Carbohydrate Polymers*. – 2020. – Vol. 227. – P. 115331.
17. Dzung, N. A. Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee / N. A. Dzung, V. T. P. Khanh, T. T. Dzung // *Carbohydrate Polymers*. – 2011. – Vol. 84, Iss. 2. – P. 751–755.
18. Farouk, S. Improving growth and yield of cowpea by foliar application of chitosan under water stress / S. Farouk, A. R. Amany // *Egyptian Journal of Biology*. – 2012. – Vol. 14. – P. 14–26.
19. Недведь, Е. Л. Параметры роста и антиоксидантная активность в проростках огурца при применении конъюгатов хитозана с оксикоричными кислотами в условиях солевого стресса / Е. Л. Недведь [и др.] // *Журнал прикладная биохимия и микробиология*. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 74–82.
20. Еловская, Н. А. Моделирование условий осмотического стресса в культуре *in vitro* / Н. А. Еловская, Ж. Н. Калацкая // *Новости науки в АПК: научно-практический журнал*. – 2021. – №1. – С. 88–92.
21. Шихалеева, Г. Н. Модифицированная методика определения пролина в растительных объектах / Г. Н. Шихалеева [и др.] // *Вестн. Харьков. нац. ун-та им. В. Н. Каразина. Сер. Биология*. – 2014. – Т. 21, № 1112. – С. 168–172.
22. Timothy Paine, C. E. How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists / C. E. Timothy Paine [et al.] // *Methods in Ecology and Evolution*. – 2012. – Vol. 3, Iss. 3. – P. 217–456.

23. Agathokleous, E. Does the root to shoot ratio show a hermetic response to stress? An ecological and environmental perspective / E. Agathokleous [et al.] // *Journal of Forestry Research*. – 2019. – Vol. 30, Iss. 5. – P. 1569–1580.
24. Chakraborty, M. Mechanism of plant growth promotion and disease suppression by chitosan biopolymer / M. Chakraborty [et al.] // *Agriculture*. – 2020. – Vol. 10, Iss. 12. – P. 624. doi:10.3390/agriculture10120624.
25. Xing, K. Chitosan antimicrobial and eliciting properties for pest control in agriculture: A review / K. Xing [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2015. – Vol. 35. – P. 569–588.
26. Hadwiger, L. A. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype / L. A. Hadwiger // *Plant Science*. – 2013. – Vol. 208. – P. 42–49.
27. Marchiosi, R. Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants / R. Marchiosi [et al.] // *Phytochemistry Reviews*. – 2020. – Vol. 19, № 4. – P. 865–906.
28. Ralph, J. Hydroxycinnamates in lignification / J. Ralph // *Phytochemistry Reviews*. – 2010. – Vol. 9. – P. 65–83.
29. dos Santos, W. D. Lignification and related enzymes in *Glycine max* root growth-inhibition by ferulic acid / W. D. dos Santos // *Journal of Chemical Ecology*. – 2004. – Vol. 30. – P. 1203–1212.
30. Куликов, С. Н. Роль структуры в элиситорной активности хитозана / С. Н. Куликов, В. П. Варламов // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. – 2008. – Т. 150, кн. 2. – С. 43–58.
31. Герасимович, К. М. Влияние конъюгатов хитозана с оксикоричными кислотами и их наночастиц на рост проростков ячменя и содержание в них пролина при солевом стрессе / К. М. Герасимович [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2022. – Т. 67, № 3. – С. 263–273.
32. Kraskouski, A. Synthesis and properties of hydrogel particles based on chitosan-ferulic acid conjugates / A. Kraskouski [et al.] // *Soft Materials*. – 2021. – Vol. 19, № 4. – P. 495–502.
33. Bacher, H. Modifying root-to-shoot ratio improves root water influxes in wheat under drought stress / H. Bacher [et al.] // *Journal of Experimental Botany*. – 2022. – Vol. 73. – P. 1643–1654.
34. Sintaha, M. Drought stress priming improved the drought tolerance of soybean / M. Sintaha [et al.] // *Plants*. – 2022. – Vol. 11. – P. 2954.
35. Chen, X. The relationship between characteristics of root morphology and grain filling in wheat under drought stress / X. Chen [et al.] // *PeerJ*. – 2021. – Vol. 9. – P. e12015.
36. Horta, L. P. Organ-coordinated response of early post-germination mahogany seedlings to drought / L.P. Horta [et al.] // *Tree Physiology*. – 2014. – Vol. 34, Iss. 4. – P. 355–366.
37. Verslues, P. E. Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction / P. E. Verslues, S. Sharma // *Arabidopsis Book*. – 2010. Vol. 8. – e0140.
38. Samec, D. The role of polyphenols in abiotic stress response: the influence of molecular structure / D. Samec [et al.] // *Plants*. – 2021. Vol. 1, Iss. 118. – 24 p.
39. Siquet, C. Antioxidant profile of dihydroxy- and trihydroxyphenolic acids – A structure-activity relationship study / C. Sique [et al.] // *Free radic. Res*. – 2006. – Vol. 40. – P. 433–442.
40. Bistgani, Z. E. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak / Z. E. Bistgani [et al.] // *Industrial Crops and Products*. – 2019. – Vol. 135. – P. 311–320.
41. Panteli, E. Solubilities of cinnamic acid esters in binary mixtures of ionic liquids and organic solvents / E. Panteli, E. Voutsas // *Fluid Phase Equilibria*. – 2010. – Vol. 295, Iss. 2. – P. 208–214.
42. Sharma, A. Ferulic acid: A novel inducer of antioxidant enzymes in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings / A. Sharma, R. D. Bhardwal, A. K. Gupta // *Cereal Research Communications*. – 2015. – Vol. 43, Iss. 3. – P. 394–402.
43. Linic, I. Ferulic acid and salicylic acid foliar treatments reduce short-term salt stress in Chinese cabbage by increasing phenolic compounds accumulation and photosynthetic performance / I. Linic [et al.] // *Plants*. – 2021. – Vol. 10, Iss. 11. – P. 2346.
44. Xu, Ch. Chitosan as soil amendment affects lettuce growth, photochemical efficiency and gas exchange / Ch. Xu, B. Mou // *Horttechnology*. – 2018. – Vol. 28, Iss. 4. – P. 476–480.
45. Riseh, R. S. Chitosan as a potential natural compound to manage plant diseases / R. S. Riseh [et al.] // *International journal of biological macromolecules*. – 2022. – Vol. 220. – P. 998–1009.
46. Hadrami, A. E. Chitosan in plant protection / A. E. Hadrami [et al.] // *Marine drugs*. – 2010. – № 8. – P. 968–987.
47. Тютюрев, С. Л. Экологически безопасные индукторы устойчивости растений к болезням и физиологическим стрессам / С. Л. Тютюрев // Вестник защиты растений – 2015. – №1, Вып. 83. – С. 3–13.

Поступила в редакцию 18.04.2023 г.

УДК 581.19:547.36

Е. Н. КАРАСЁВА¹, Р. И. ЛУКАШОВ²**БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ В ЛИСТЬЯХ *DIOSCOREA ALATA* L.**¹*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: ledymc_net@mail.ru*²*Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь, e-mail: r_lukashov@mail.ru*

Аннотация. Исследовали содержание биологически активных веществ и их антиоксидантную активность в листьях растений диоскореи крылатой (*Dioscorea alata* L.) методами спектрофотометрии и высокоэффективной жидкостной хроматографии. Количественное определение суммы флавоноидов и антоцианов выявило максимальное содержание этих соединений в листьях пурпурного цвета (1,39% и 0,16% соответственно). При качественном анализе флавоноидов обнаружен цинарозид, а также идентифицированы гидроксикоричные кислоты: хлорогеновая, кофейная и феруловая. Максимальное накопление диосгенина (2,35%) установлено в зеленых листьях. Независимо от окраски и возраста листья *Dioscorea alata* L. характеризуются высоким уровнем антиоксидантной активности.

Ключевые слова: биологически активные вещества, фенольные соединения, антиоксидантная активность, сапонины, *Dioscorea alata* L.

E. N. KARASIOVA¹, R. I. LUKASHOU²**THE BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
AND THEIR ANTIOXIDANT ACTIVITY IN THE *DIOSCOREA ALATA* L. LEAVES**¹*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: Ledymc_net@mail.ru*²*Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus, e-mail: r_lukashov@mail.ru*

Annotation. The biologically active substances and antioxidant activity of the leaves of *Dioscorea alata* L. plants were investigated using spectrophotometry and high performance liquid chromatography. The maximum content of flavonoids and anthocyanins sum was revealed in purple-colored leaves (1.39% and 0.16% respectively). Qualitative analysis of flavonoids discovered cynaroside and also identified HCA: chlorogenic, caffeic and ferulic acids. The maximum of total dyosgenin (2.35%) is accumulated in green leaves. It was concluded that *Dioscorea alata* has high antioxidant properties regardless of the color and age of the leaf of the plant.

Keywords: biologically active substances, phenolic compounds, antioxidant activity, saponins, *Dioscorea alata* L.

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования содержания биологически активных веществ сопровождаются изучением антиоксидантной активности растений и выявлением ее зависимости от химического состава растений [1].

Представители рода *Dioscoreae* L. представляют значительный интерес как растения, имеющие большой ресурсный потенциал. Особый интерес представляет *Dioscorea alata* L. как перспективное для условий Республики Беларусь лекарственное и декоративное растение [2]. Для растений этого вида характерны высокие линейные проросты и образование подземных или

надземных клубней, богатых биологически активными веществами, в том числе сапонинами, фенольными соединениями, оксалатами, ингибиторами амилазы и трипсина и т.д. [3].

Антиоксидантная активность (АОА) растительных экстрактов обусловлена различным химическим составом растительного сырья, но во многом определяется содержанием веществ фенольной природы [4]. Поэтому целью данного исследования является оценка содержания фенольных соединений, сапонинов и определение АОА извлечений из листьев *Dioscorea alata* L.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили листья растений *Dioscorea alata* L., выращенных по технологии, разработанной в лаборатории роста и развития растения Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси [5].

Свежесобранное сырье подвергали температурной сушке при 60 °С с принудительной вентиляцией. Навеску измельченного сухого сырья массой 2 г помещали в колбу вместимостью 100 мл, прибавляли 100 мл 70% этанола (по объему) и нагревали с обратным холодильником на водяной бане при 60 °С в течение 30 мин при периодическом перемешивании. Предварительно колбу с содержимым взвешивали. После остывания до комнатной температуры колбу с содержимым взвешивали повторно и при необходимости доводили 70% этанолом до первоначальной массы. Содержимое процеживали через ватный тампон, затем фильтровали через смоченный бумажный фильтр и доводили при необходимости до объема 100 мл соответствующим экстрагентом.

Количественное определение суммы флавоноидов: 1 мл полученного фильтрата помещали в мерную колбу на 50 мл, прибавляли 0,2 мл уксусной кислоты и 4 мл раствора 30 г/л алюминия хлорида, растворенного в 70% этаноле, доводили 70% этанолом до объема 50 мл. Оптическую плотность опытного раствора измеряли через 30 мин на спектрофотометре марки «JASKO»W630 при длине волны 400 нм. Содержание флавоноидов определяли в пересчете на цинарозид методом градуировочного графика [6–7].

Компенсационный раствор. В качестве компенсационного раствора использовали раствор, состоящий из 1 мл фильтрата и 0,2 мл уксусной кислоты, доведённый до объема 50 мл 70% этанолом.

Количественное определение суммы гидроксикоричных кислот (ГКК): 2,5 мл полученного фильтрата помещали в мерную колбу на 50 мл, прибавляли 5 мл 0,5 М раствора хлористоводородной кислоты, 5 мл реактива Арно-ва (10 г натрия нитрита и 10 г натрия молибдата растворяли в 100 мл дистиллированной воды), 5 мл раствора натрия гидроксида разведенного и доводили очищенной водой до объема 50 мл. Измерение оптической плотности на спектрофотометре проводили сразу после смешивания реактивов при длине волны 525 нм. Содержание суммы ГКК определяли в пересчете на хлорогеновую кислоту методом градуировочного графика [8–9].

Компенсационный раствор готовили по аналогичной схеме без добавления реактива Арно-ва.

Количественное определение суммы антоцианов: 2 мл полученного фильтрата помещали в мерную колбу на 50 мл и доводили раствором 25 г/л хлористоводородной кислоты до объема 50 мл. Оптическую плотность измеряли через 20 мин при длине волны 525 нм. Содержание суммы антоцианов определяли в пересчете на цианидина хлорид методом градуировочного графика [7].

Компенсационный раствор – раствор 25 г/л хлористоводородной кислоты.

Определение антиоксидантной активности:

Испытуемый раствор – к 0,3 мл полученного фильтрата прибавляли 6 мл раствора 0,05 г/л 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) в 96% этаноле. Измерение оптической плотности проводили через 30 мин при длине волны 517 нм.

Также измеряли оптическую плотность раствора без антиоксидантов, приготовленного путём прибавления к 0,3 мл соответствующего экстрагента (70% этанола) 6 мл раствора 0,05 г/л DPPH в 96% этаноле [10–15].

Компенсационный раствор – 96% этанол.

Процент поглощения радикалов (ППР) вычисляли по формуле:

$$\text{ППР} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} * 100,$$

где A_0 – оптическая плотность раствора DPPH без антиоксидантов;

A_1 – оптическая плотность испытуемого раствора.

Анализ полученных результатов проводили в 3-х-кратной биологической и аналитической повторностях. В ходе обработки экспериментальных данных вычисляли среднее (M), стандартную ошибку среднего (m), достоверность различий между вариантами определяли с учетом коэффициента Стьюдента (t) для принятого уровня значимости ($p \leq 0,05$).

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили общепринятыми методами при помощи программы Microsoft Office Excel 2016 (пакет «Анализ данных»), и статистическими методами, принятыми в области биологических исследований.

Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) флавоноидов:

Полученный фильтрат центрифугировали при 5000 об/мин в течение 10 мин. Надсадочную жидкость использовали для инъектирования в хроматограф.

Анализ проводили на жидкостном хроматографе Ultimate 3000 с насосом LPG-3400SD на четыре растворителя и устройством для вакуумной дегазации элюента, автосамплером WPS-3000 TLS с термостатом, термостатом для колонок TSS-3000SD с краном переключения, диодно-матричным детектором DAD3000. Обработку хроматограмм и спектров поглощения проводили с помощью компьютерной программы Chromeleon 7 [6].

Условия хроматографирования:

- колонка длиной 0,25 м и внутренним диаметром 4,6 мм, заполненная *силикагелем октадецилсилильным для хроматографии P* с размером частиц 5 мкм;
- температура колонки: 30°C;
- подвижная фаза А (табл. 1): раствор 2 г/л кислоты муравьиной в воде (по объему);
- подвижная фаза В (см. табл. 1): раствор 2 г/л кислоты муравьиной в *ацетонитриле P* (по объему).

- скорость подвижной фазы: 1,0 мл/мин;
- спектрофотометрический детектор, длина волны 254 нм;
- объем вводимой пробы: 10 мкл.

ВЭЖХ гидроксикоричных кислот:

Условия хроматографирования:

- колонка длиной 0,25 м и внутренним диаметром 4,6 мм, заполненная *силикагелем октадецилсилильным для хроматографии P* с размером частиц 5 мкм;
- температура колонки: 35°C;
- подвижная фаза А (табл. 2): *кислота фосфорная P – вода P* (1:999, об/об);
- подвижная фаза В (см. табл. 2): *ацетонитрил P*.
- скорость подвижной фазы: 1,5 мл/мин;
- спектрофотометрический детектор, длина волны 330 нм;
- объем вводимой пробы: 10 мкл.

Определение содержания сапонинов проводили согласно методике [5].

Таблица 1. Программа изменения концентрации растворителей для разделения флавоноидов

Table 1. Program for the concentration changing of solvents for the flavonoids separation

Время (мин)	Подвижная фаза А (% об/об)	Подвижная фаза В (% об/об)
0	90	10
0–3	90	10
3–20	90 → 75	10 → 25
20–30	75 → 60	25 → 40
30–40	60 → 40	40 → 60

Таблица 2. Программа изменения концентрации растворителей для разделения гидроксикоричных кислот

Table 2. Program for the concentration changing of solvents for the hydroxycinnamic acids separation

Время (мин)	Подвижная фаза А (% об/об)	Подвижная фаза В (% об/об)
0	90	10
0–13	90 → 78	10 → 22
13–14	78 → 60	22 → 40
14–20	60	40

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования содержания антиоксидантов в водно-спиртовых извлечениях (70% этанол) из листьев *Dioscorea alata* разного возраста (молодые растущие листья пурпурного цвета и завершившие рост листья интенсивного зеленого цвета) показали, что все экстракты обладают высокой АОА, процент поглощения радикалов в зеленых листьях составил в среднем 82,2%, а в пурпурных – 80,4% (рис. 1).

Флавоноиды участвуют в окислительно-восстановительных процессах, являются необходимыми компонентами дыхательной пероксидаз-

ной системы растений, играют роль поглотителей ультрафиолетовых лучей, участвуют в важных процессах обмена веществ в растениях [16]. По мнению ряда авторов [17–18], флавоновые соединения повышают толерантность растений к неблагоприятным условиям среды и могут играть важную роль в адаптации растений к внешним негативным факторам благодаря широкому спектру действия данных соединений, обладающих аллелопатическими, инсектицидными, фунгицидными и бактерицидными свойствами.

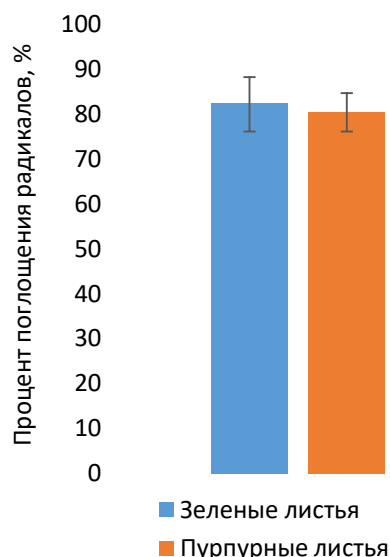


Рис. 1. Антиоксидантная активность извлечений из листьев *Dioscorea alata*

Fig. 1. Antioxidant activity in the extract of *Dioscorea alata* leaves

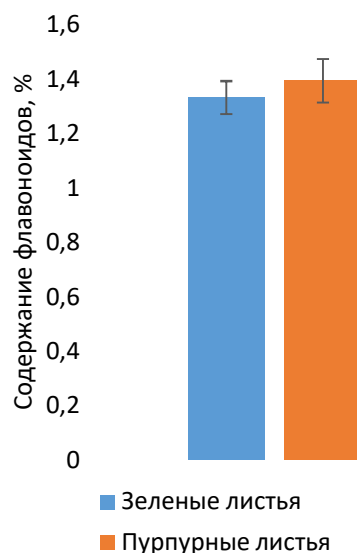


Рис. 2. Количественное определение суммы флавоноидов в листьях *Dioscorea alata*

Fig. 2. Quantitative determination of the amount of flavonoids in the *Dioscorea alata* leaves

При количественном определении суммы флавоноидов их максимальное содержание – 1,39% было отмечено у листьев пурпурного цвета (рис. 2).

Идентификацию флавоноидов проводили методом ВЭЖХ путем сопоставления времени удерживания и спектров поглощения веществ во введенной пробе, содержащей стандартные образцы флавоноидов: кверцетин, рутин, кверцетина 3-глюкуронид, мирицетин, лютеолина 7-глюкозид (цинарозид), кемперола 3-глюкозид, изокверцитрин, гиперозид и дигидрокверцетин (Sigma-Aldrich).

Во всех исследуемых листьях обнаружен флавоноид лютеолина 7-глюкозид (цинарозид), обладающий выраженным гипотензивным действием и высокими антиоксидантными свойствами [19] (рис. 3, 4).

Другими представителями биологически активных веществ фенольной природы, обладающими антиоксидантными свойствами, являются гидроксикоричные кислоты. В результате исследования установлено, что среднее содержание ГКК в листьях зеленого и пурпурного цвета составляет 0,83% и 1,10% соответственно (рис. 5).

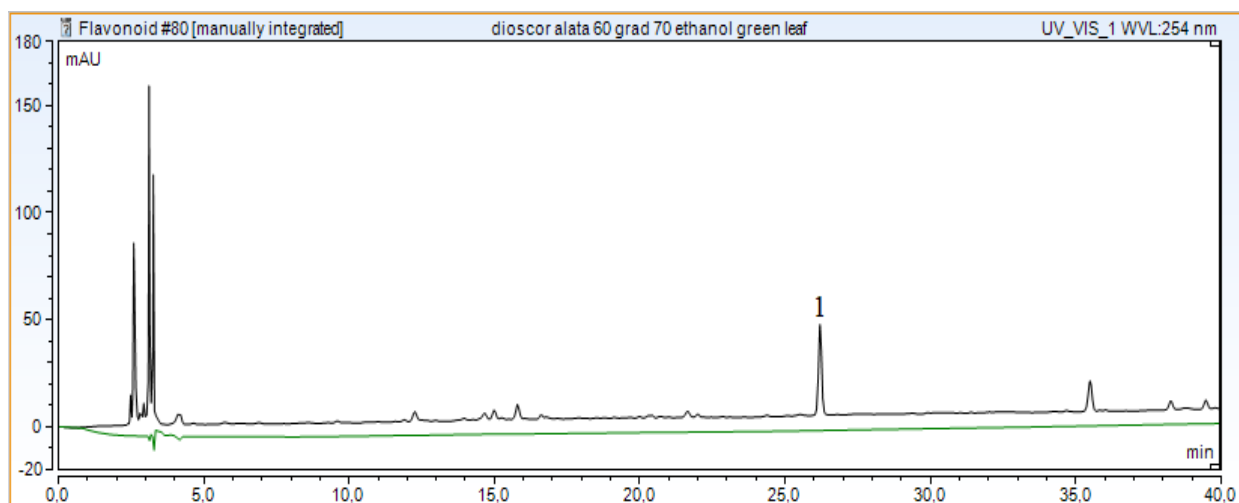


Рис. 3. Хроматограмма водно-этанольного извлечения из зеленых листьев растений *Dioscorea alata*: 1 – лютеолина 7-глюкозид (цинарозид)

Fig. 3. Chromatogram of water-ethanol extract from green leaves of *Dioscorea alata* plants: 1 – luteolin 7-glucoside (cynaroside)

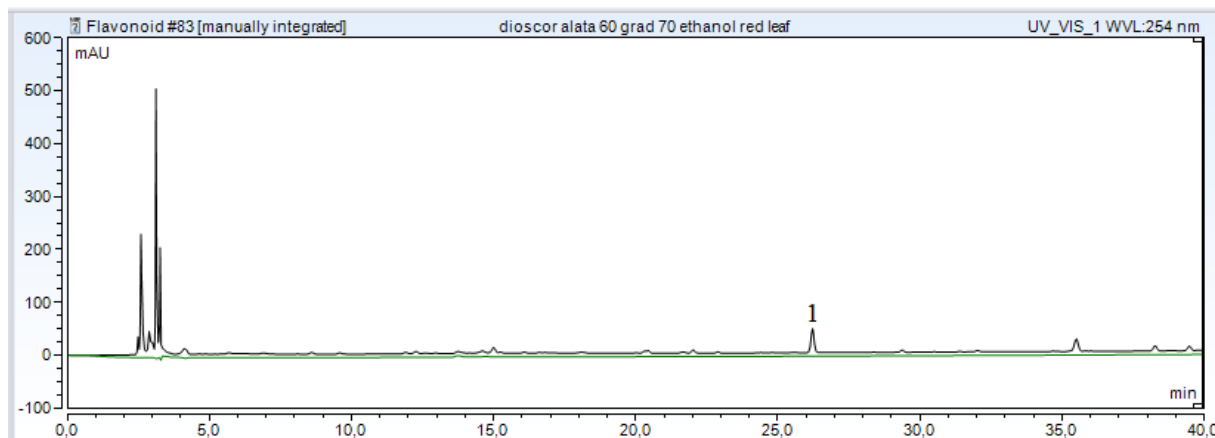


Рис. 4. Хроматограмма водно-этанольного извлечения из пурпурных листьев растений *Dioscorea alata*: 1 – лутеолина 7-глюкозид (цинарозид)

Fig. 4. Chromatogram of water-ethanol extract from purple leaves of *Dioscorea alata* plants: 1 – luteolin 7-glucoside (cynaroside)

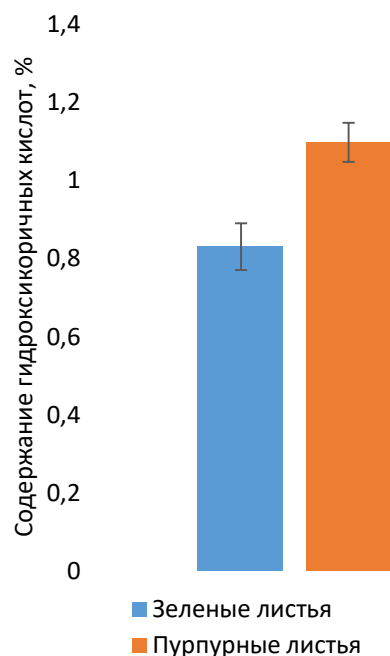


Рис. 5. Количественное определение суммы гидроксицирричных кислот в листьях растений *Dioscorea alata*

Fig. 5. Quantitative determination of the amount of hydroxycinnamic acids in the leaves of *Dioscorea alata* plants

При изучении состава ГКК методом ВЭЖХ идентификацию проводили путем сопоставления времени удерживания и спектров поглощения веществ во введенной пробе, в которой содержались стандартные образцы ГКК: кофейная, хлорогеновая, феруловая, транс-феруловая, галловая, эллаговая кислота (Sigma-Aldrich) (рис. 6, 7). В ходе исследования идентифициро-

ваны: кофейная, хлорогеновая и феруловая кислоты (см. рис. 6, 7).

Во время изучения хроматографических пиков, полученных для ГКК, было отмечено наличие пиков веществ, у которых наблюдался характерный для антоцианов максимум поглощения в области 500–550 нм, поэтому указанные пики отнесены к данной группе БАВ (см. рис. 6, 7).

Сумма антоцианов в зеленых листьях составила в среднем 0,02%, а в пурпурных – 0,17%. Разница в содержании растительных пигментов обусловила окраску листьев (рис. 8).

Диосгенин, как стероидный сапогенин, является одним из наиболее важных предшественников при синтезе около 300 видов стероидных гормонов [3]. Данные многочисленных экспериментальных исследований, подтвердившие ценность стероидных препаратов, увеличили мировой спрос на них, в том числе на диосгенин. В связи с этим, становится актуальной проблема поиска возобновляемых источников этого важного сырья для фармацевтической промышленности [5].

В настоящее время диосгенин и родственные сапогенины коммерчески доступны из клубней различных видов рода *Dioscorea*, имеются данные и о высоком содержании диосгенина в клубнях *D. alata* [20]. Между тем, данные о содержании диосгенина в надземных органах растений этого вида единичны [5, 20].

В связи с этим нами проведено определение количественного содержания диосгенина в листьях растений *D. alata*. Результаты хроматографического анализа извлечений из листьев пурпурной окраски и зеленых листьев представлены в табл. 3 и на рис. 9 и 10.

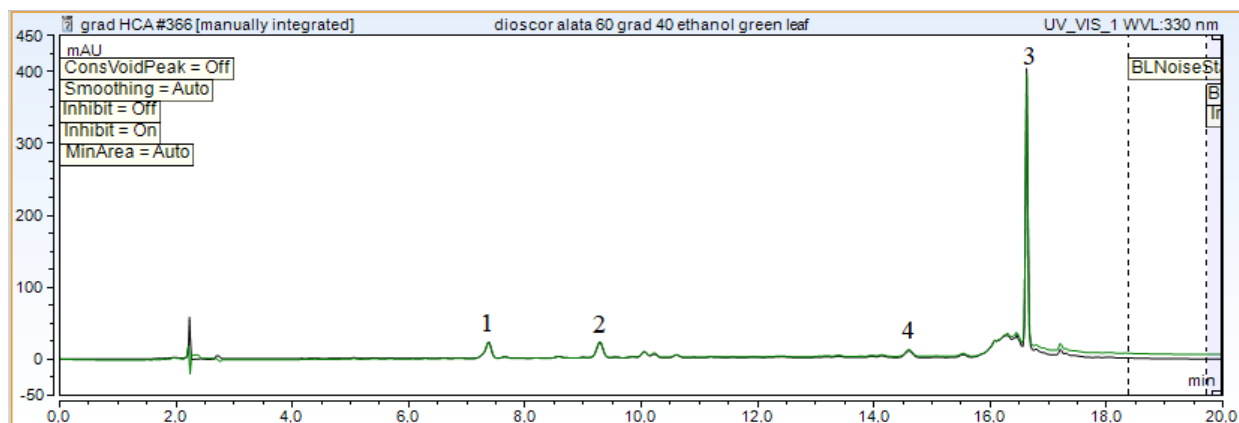


Рис. 6. Хроматограмма водно-этанольного извлечения из зеленых листьев растений *Dioscorea alata*: 1 – хлорогеновая кислота, 2 – кофейная кислота, 3 – феруловая кислота, 4 – антоциан

Fig. 6. Chromatogram of water-ethanol extract from green leaves of *Dioscorea alata* plants: 1 – chlorogenic acid, 2 – caffeic acid, 3 – ferulic acid, 4 – anthocyanin

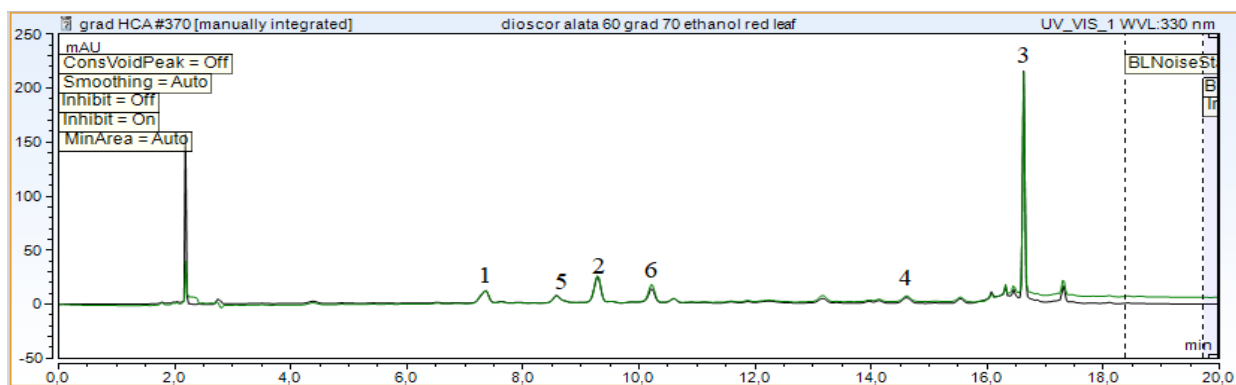


Рис. 7. Хроматограмма водно-этанольного извлечения из пурпурных листьев растений *Dioscorea alata*: 1 – хлорогеновая кислота, 2 – кофейная кислота, 3 – феруловая кислота; 4, 5 и 6 – антоцианы

Fig. 7. Chromatogram of water-ethanol extract from purple leaves of *Dioscorea alata* plants: 1 – chlorogenic acid, 2 – caffeic acid, 3 – ferulic acid; 4, 5 and 6 – anthocyanins

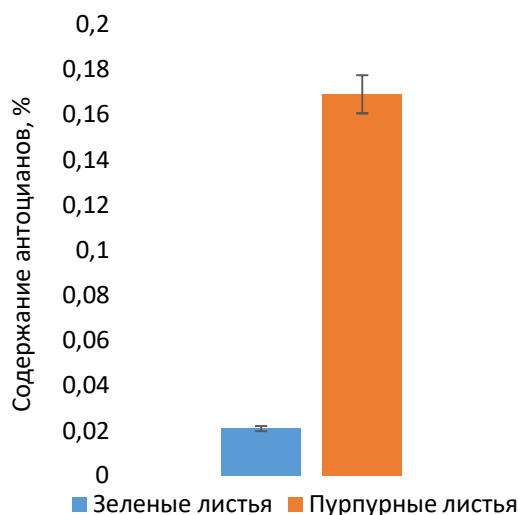


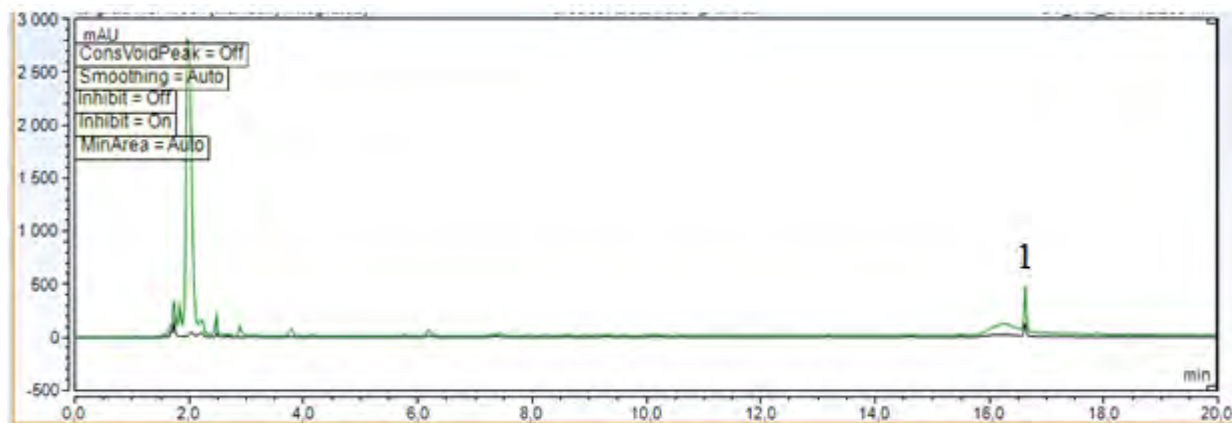
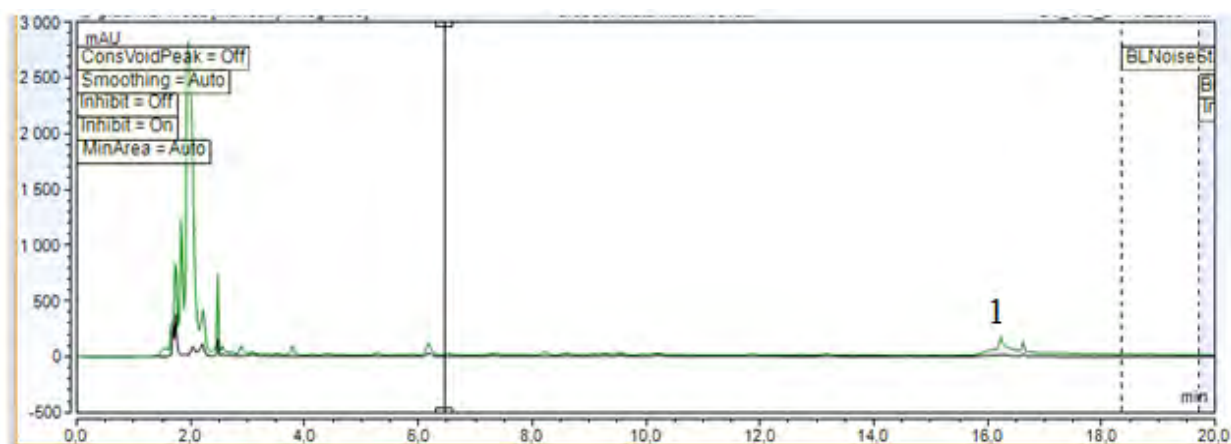
Рис. 8. Количественное определение суммы антоцианов в листьях растений *Dioscorea alata*

Fig. 8. Quantitative determination of the anthocyanins amount in the leaves of *Dioscorea alata* plants

По данным проведенного исследования, накопление (общее содержание) диосгенина в листьях диоскорей составляет от 2,11% в зеленых до 2,35% в пурпурных листьях (см. табл.1, рис. 9–10), что свидетельствует о возможности использования листьев *Dioscorea alata*, независимо от их окраски, в качестве источника биологически активных веществ - сапонинов. При этом следует учитывать, что в листьях, завершивших рост (зеленых), преобладает связанная форма диосгенина.

Таблица 3. Содержание диосгенина в листьях растений *Dioscorea alata***Table 3.** The content of diosgenin in the leaves of *Dioscorea alata* plants

Объект	Содержание связанной формы диосгенина, %	Содержание свободной формы диосгенина, %	Общее содержание диосгенина, %
Пурпурные листья	0,99±0,12	1,12±0,24	2,11
Зеленые листья	1,21±0,29	1,14±0,38	2,35

**Рис. 9.** Хроматограмма извлечения из зеленых листьев: 1 – диосгенин**Fig. 9.** Chromatogram of extract from green leaves: 1 – diosgenin**Рис. 10.** Хроматограмма извлечения из пурпурных листьев: 1 – диосгенин**Fig. 10.** Chromatogram of purple leaf extract: 1 – diosgenin

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процентное содержание биологически активных веществ в листьях *D. alata* L. составило: флавоноидов – 1,33% (зеленые листья), 1,39% (пурпурные листья); гидроксикоричных кислот – 0,83% у зеленых и 1,09% у пурпурных листьев. При изучении качественного состава флавоноидов методом ВЭЖХ с помощью стандартных образцов обнаружен цинарозид, с использованием стандартных образцов гидроксикоричных кислот идентифицированы хлорогеновая, кофейная и феруловая кислоты.

В процессе хроматографического анализа ГКК также установлено наличие пиков веществ, у

которых наблюдался характерный для антоцианов максимум поглощения в области 500–550 нм. Суммарное содержание антоцианов максимально у листьев пурпурного цвета – 0,16%.

Накопление (общее содержание) важного для фармацевтической промышленности стероидного гормона диосгенина в листьях диоскореи составило 2,11–2,35%. Независимо от окраски и возраста листьев растения *Dioscorea alata* L. показали высокий уровень антиоксидантной активности. Максимальный процент поглощения радикалов (в среднем 82,2%) отмечен для извлечений из листьев, завершивших рост.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaur, C. Antioxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables / C. Kaur, C. Kapoor // Intern. Journ. Food Sci. and Techn. – 2002. – Vol. 37, N 2. – P. 153–161.
2. Shah, H. Extraction of diosgenin, a bioactive compound from natural source *Dioscorea alata* var *purpurea* / H. Shah, S. Lele // J. Anal. Bioanal. Tech. – 2012. – N 3 (4), P. 1–3.
3. Lebot, V. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids. – Wallingford, UK: CABI, 2008. – 404 p.
4. Алексеева, Л. И. Фенольные соединения и антиоксидантная активность уральских представителей рода *Thymus* (Lamiaceae) / Л. И. Алексеева [и др.] // Растительные ресурсы. – 2012. – Вып. 1. – С. 110–117.
5. Ламан, Н. А. Накопление диосгенина в растениях *Dioscorea alata* L., выращенных в лабораторных условиях / Н. А. Ламан, Н. А. Копылова, Е. Н. Карасёва // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 51. – С. 170–175.
6. Терлецкая, В. А. Динамика накопления флавоноидов в различных органах *T. officinale* / В. А. Терлецкая // Природные соединения и здоровье человека: сборник научных статей Всеросс. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых с междунар. участием. – Иркутск: ИГМУ, 2021. – С. 145–150.
7. Терлецкая, В. А. Сравнительный анализ состава извлечений из различных органов одуванчика лекарственного / В. А. Терлецкая // Актуальные проблемы современной медицины и фармации-2021: сборн. мат-лов 75-й Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых; под ред. С. П. Рубниковича, В. А. Филонюка – Минск: БГМУ, 2021. – С. 1729–1733.
8. Терлецкая, В. А. Динамика накопления гидроксикоричных кислот в цветках одуванчика лекарственного и обоснование оптимальных сроков их заготовки / В. А. Терлецкая // Студенческая медицинская наука XXI века. VI Форум молодых научных обществ материалы XXI междунар. науч.-практ. кон. студентов и молодых учёных и VI форума молодеж. науч. обществ, Витебск, 27–28 окт. 2021 г. ; под ред. А. Т. Щастного. – Витебск: ВГМУ, 2021. – С. 853–856.
9. Новаш, Д. С. Влияние природы и состава растворителя на эффективность экстракции гидроксикоричных кислот и их производных из травы эхинацеи пурпурной / Д. С. Новаш // Современные достижения фармацевтической науки в создании и стандартизации лекарственных средств и диетических добавок, которые содержат компоненты природного происхождения: материалы III Междунар. научн.-практ. интернет-конф. – Харьков, 2021. – С. 144–145.
10. Хасанов, В. В. Методы исследования антиоксидантов / В. В. Хасанов, Г. Л. Рыжова, Е. В. Мальцева // Химия растит. сырья. – 2004. – № 3. – С. 63–75.
11. Chen, Z. EC50 estimation of antioxidant activity in DPPH: assay using several statistical programs / Z. Chen, R. Bertin, G. Flordi // Food Chemistry. – 2013. – Vol. 138. – P. 414–420.
12. Jin, Z.-Q. Simple reproducible model of free radical-injured isolated heart induced by 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) / Z.-Q. Jin, X. Chen // J. of Pharmacol. and Toxicol. methods. – 1998. – Vol. 39. – P. 63–70.
13. Apak, R. Methods of measurement and evaluation of natural antioxidant capacity/activity (IUPAC Technical Report) / R. Apak [et al.] // Pure Appl. Chem. – 2013. – Vol. 85, № 5. – P. 957–998.
14. Molyneus, P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity / P. Molyneus // Songklanakarin J. Sci. Technol. – 2004. – Vol. 26, № 2. – P. 211–219.
15. Новаш, Д. С. Антиоксидантная активность водно-органических извлечений из травы эхинацеи пурпурной (*Echinaceae purpureae* herba) / Д. С. Новаш // Актуальные проблемы современной медицины и фармации-2021: сборник материалов 75-й Междунар. научно-практической конф. студентов и молодых ученых; под редакцией С. П. Рубниковича, В. А. Филонюка. – Минск: БГМУ, 2021. – С. 1136–1140.
16. Гусев, Н. Ф. Влияние техногенного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях семейства норичниковых Степного Предуралья / Н. Ф. Гусев, О. Н. Немерешина // Вестник ОГУ. – 2004. – №10. – С.123–126.
17. Георгиевский, В. П. Физико-химические и аналитические характеристики флавоноидных соединений / В. П. Георгиевский, А. И. Рыбаченко, А. Л. Казаков. – Ростов н/Д.; Изд-во Рост. ун-та, 1988. – 142 с.
18. Храмова, Е. П. Состав и содержание флавоноидов в *Potentilla fruticosa* (Rosaceae) в условиях техногенного загрязнения в г. Новосибирске / Е. П. Храмова, Г. И. Высочина // Растительные ресурсы. – 2010. – Т 46, вып. 2. – С. 74–86.
19. Эргашев, Н. А. Антиоксидантные свойства флавоноида цинарозида на модели митохондрий / Н. А. Эргашев [и др.] // 19-я Междунар. Пушинская школа-конф. молодых ученых. Пушино. – 2015. – С. 151.
20. Hana, C. D. Diosgenin from *Dioscorea alata*: Extraction and potential effects on enzymes related to metabolic syndrome / C. D. Hana, K. Rufina, R. D. Myrene // Int. J. Pharm. Biol. Sci. – 2019. – Vol. 9. – N. 1. – P. 177–185.

Поступила в редакцию 12.04.2023 г.

УДК 582.572.7:631.589

Е. Н. КАРАСЁВА

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОРНЕОБИТАЕМОЙ СРЕДЫ
В ОРАНЖЕРЕЙНОЙ КУЛЬТУРЕ *DIOSCOREAE ALATA* L.**

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: ledymc_net@mail.ru*

Аннотация. Диоскорея крылатая *Dioscoreae alata* L. – тропический интродуцент, требующий в процессе вегетативного роста высоких уровней содержания влаги и элементов минерального питания в корнеобитаемой среде. Цель настоящего исследования заключалась в оптимизации агрохимического состава и агрофизических свойств ионообменного субстрата при культивировании этого растения в условиях закрытого грунта. Использование новых видов катионитов и анионитов позволило создать ионообменные субстраты Триона-СА и Триона-ДИ. В результате проведенных исследований установлено, что максимальные значения влагоемкости при модификации ионообменного субстрата Триона-СА отмечаются при добавлении гидрогелей в дозе 0,5–1,0 г/л, что позволило повысить его влагоемкость на 12,0–14,0%, длительно поддерживать оптимальные уровни влажности и сокращать период адаптации регенерантов диоскореи крылатой.

Ключевые слова: ионообменный субстрат, модификация, гидрогели, корнеобитаемые среды, *Dioscorea alata* L.

E. N. KARASIOVA

**ROOT ENVIRONMENT OPTIMIZATION OF *DIOSCOREAE ALATA* L.
IN THE ORANGERY CULTIVATION**

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: ledymc_net@mail.ru*

Annotation. *Dioscoreae alata* L. is a tropic introduced plant, requiring high humidity of the root environment and sufficient mineral nutrition in the process of vegetative growth. In this regard, the aim of the study is to optimize the ion-exchange substrate in terms of agrochemical composition and agrophysical properties for a tropical introducer. The use of new types of cation exchangers and anion exchangers made it possible to create Triona-SA and Triona-DI ion-exchange substrates. As a result of the studies, it was found that the maximum values of moisture capacity when modifying the Triona-SA ion-exchange substrate are observed with the addition of hydrogels at a dose of 0.5–1.0 g/l, which made it possible to increase its moisture capacity by 12.0–14.0%, to maintain optimal conditions for a long time humidity levels and shorten the period of adaptation of *Dioscoreae alata* L. regenerants.

Keywords: ion exchange substrate, modification, hydrogels, root media, *Dioscorea alata* L.

ВВЕДЕНИЕ

Выращивание растений на искусственных корнеобитаемых средах требует соблюдения ряда условий: определенного состава макро- и микроэлементов и агрофизических свойств субстрата, что может обеспечить оптимальные свойства корнеобитаемой среды, её температурный, влажностный и водный режимы при заданной освещенности и фотопериоде [1]. В этой связи вопросы по оптимизации ионообменных искусственных субстратов, позволяющих длительное время сохранять их требуемые физико-химические свойства при культивировании растений имеют

важное значение для эффективного размножения *in vivo* в современных биотехнологиях.

В связи с тем, что обладающая как интродуцент большим ресурсным потенциалом диоскорея крылатая (*Dioscorea alata* L.) – новое растение для условий Беларуси, в естественном ареале обитания предпочитающее легкие, с хорошим дренажом, богатые питательными веществами почвы и требующее высокой влажности корнеобитаемой среды и достаточного минерального питания в процессе вегетативного роста, выбор для ее культивирования в условиях защищен-

ного грунта был остановлен на искусственном ионообменном субстрате с осуществлением, однако, определенной модификации последнего по

агрехимическому составу и агрофизическим параметрам с учетом биологических особенностей интродуцента [2–4].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее нами разработаны ионообменные субстраты, состоящие из новых катионо- и анионообменных материалов и инертного материала – агроперлита. Такой ионообменный субстрат способен поглотить и удерживать до 120% воды относительно своей массы. Этих параметров влажности достаточно при выращивании большинства растений с периодическим поливом, не вызывая стрессовых изменений в листьях. Однако при выращивании тропических интродуцентов, требующих для своего роста высокой влажности, необходимо создание более влагоемкого субстрата [5].

В исследованиях использованы 2 варианта ионообменных субстратов с катионитами и анионитами нового поколения:

1) Триона-СА, состоящая из катионита *Purolite C-100* и анионита *Tulsion A2XMP*;

2) Триона-DI, состоящая из катионита *Dowex mopsphere 545C* и анионита *Amberlite IRA-402* [5, 6].

Каждый из этих 2-х ионообменных субстратов затем был модифицирован путем добавления гидрогелей марки *ECOFLOC* на основе акрилата калия.

Выпускаемые производителем виды гидрогеля содержали: 1) гидрогель с гуматами (K_2O – 20%, гуминовые кислоты – 8%, бентонит – 5%); 2) гидрогель с бентонитом (K_2O – 15%, бентонит – 20%); 3) гидрогель с калием (K_2O – 23%); 4) гидрогель крупной фракции без добавок (частицы 0,9 – 1,7 мм); 5) гидрогель мелкой фракции без добавок (частицы 0,15 – 0,3).

Гидрогель в дозах 0,5 и 1,0 г/л субстрата вносили после набухания его в дистиллированной воде [7, 8].

Основная схема опыта включала следующие варианты субстратов для культивирования диоскорей крылатой:

Триона-СА, без добавления гидрогелей (контроль);

Триона-СА + гидрогель крупной фракции (к/ф) в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-СА + гидрогель мелкой фракции (м/ф) в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-СА + гидрогель с гуматами в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-СА + гидрогель с калием в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-СА + гидрогель с бентонитом в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона- DI, без добавления гидрогелей (контроль);

Триона-DI + гидрогель крупной фракции (к/ф) в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-DI + гидрогель мелкой фракции (м/ф) в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-DI + гидрогель с гуматами в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-DI + гидрогель с калием в дозе 0,5 г/л и 1 г/л;

Триона-DI + гидрогель с бентонитом в дозе 0,5 г/л и 1 г/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование новых видов катионитов и анионитов позволило создать ионообменные субстраты Триона-СА и Триона-DI. При сравнении ионообменных субстратов Триона-СА и Триона-DI (без внесения гидрогелей) установлено, что максимальными показателями влагоемкости – 57,4% характеризуется ионообменный субстрат Триона-СА, влагоемкость которого оказалась на 7,4% выше, чем у субстрата Триона-DI (табл. 1 и 2).

Согласно полученным экспериментальным данным (см. табл. 1), при модификации ионообменного субстрата Триона-СА по влагоемкости максимальное значение наблюдалось с добавлением гидрогеля крупной фракции (на 12% выше контроля), а при модификации ионообменного субстрата Триона-DI – в варианте с добавлением гидрогеля мелкой фракции.

Экспериментальные данные табл. 2 показывают, что при модификации ионообменных субстратов максимальное значение влагоемкости (на 14% выше контроля) достигалось в варианте с добавлением гидрогеля мелкой фракции.

На основе проведенных опытов можно сделать вывод, что максимальные значения влажности отмечаются при применении ионообменного субстрата Триона-СА, влажность которого даже в контроле (без внесения гидрогелей) на 7,4% выше, чем субстрата Триона-DI. Это послужило основанием для использования ионообменного субстрата Триона-СА в исследованиях морфофизиологических и биохимических характеристик растений диоскорей в культурах закрытого грунта [7, 8].

Анализ морфометрических параметров растений *Dioscorea alata* L., формирующихся из уко-

ренных черенков показал, что на модифицированном ионообменном субстрате Триона-СА с добавлением гидрогелей в дозе 0,5–1,0 г на 1 л субстрата наблюдался наиболее интенсивный рост и развитие регенерантов. Они имели статистически достоверные большую длину стеблей, в полтора раза большее количество сформированных междоузлий и листьев. Это подтверждает, что ионообменный субстрат Триона-СА является оптимальной, сбалансированной по ионному составу корнеобитаемой средой для адаптации *in*

vivo нового для Беларуси интродуцента *Dioscorea alata* L.

При уменьшении дозы используемых гидрогелей до 0,5 г на 1 л субстрата, получены сходные результаты, однако интенсивность роста регенерантов была существенно ниже. В вариантах с добавлением гидрогеля к/ф и м/ф растения диоскорей крылатой имели самые высокие линейные приросты стебля в длину в течение 70 суток после посадки черенков в субстрат.

Таблица 1. Модификация ионообменного субстрата по влагоемкости (%) при добавлении 1 г/л различных видов гидрогелей

Table 1. Optimization of ion-exchange substrate humidity (%) with the addition of different hydrogel types at a dose of 1 g/l

Вид гидрогеля	Марка субстрата	
	Триона-СА	Триона-DI
к/ф	69,37±1,56*	61,72±3,57*
м/ф	62,60±1,50*	67,17±2,12*
+ гумат	57,53±1,30*	60,44±1,89*
+ бентонит	53,93±1,30*	55,61±1,62*
+ калий	67,73±1,50*	57,12±2,61*
контроль	57,40±1,40	50,01±1,56

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

Таблица 2. Модификация ионообменного субстрата по влагоемкости (%) при добавлении 0,5 г/л различных видов гидрогелей, %

Table 2. Optimization of ion-exchange substrate humidity (%) with the addition of different hydrogel types at a dose of 0.5 g/l

Вид гидрогеля	Марка субстрата	
	Триона-СА	Триона-DI
к/ф	64,70±1,34*	59,86±1,14*
м/ф	71,40±1,40*	62,45±2,85*
+ гумат	62,30±1,20*	52,51±0,53*
+ бентонит	51,27±1,23*	60,74±0,39*
+ калий	66,67±1,69*	58,51±3,69*
контроль	57,40±1,40	50,01±1,56

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $P \leq 0,05$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что максимальные значения влагоемкости при модификации ионообменного субстрата Триона-СА достигаются при добавлении гидрогелей в дозе 0,5–1,0 г/л, что позволяет повы-

сить влагоемкость субстрата на 12,0–14,0%, длительно поддерживать оптимальные уровни влажности и сокращать период адаптации регенерантов диоскорей крылатой в оранжерейной культуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янчевская, Т. Г. Оптимизация минерального питания растений / Т. Г. Янчевская. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 456 с.
2. Shah, H. Extraction of diosgenin, a bioactive compound from natural source *Dioscorea alata* var *purpurea* / H. Shah, S. Lele. – J. Anal. Bioanal. Tech. – 2012. – N 3 (4). – P. 1–3.
3. Lebot, V. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids / V. Lebot. – Wallingford, UK: CABI, 2008. – 404 p.
4. Карасева, Е. Н. Диоскорей крылатая (*Dioscorea alata* L.) – перспективное для условий Беларуси лекарственное и высокодекоративное растение (обзор) / Е. Н. Карасева // Ботаника (исследования): сборник науч. трудов / Ин-т эксперим. бот. НАН Беларуси. – Минск: Колорград, 2021. – Вып. 50. – С. 333–341.
5. Янчевская, Т. Г. Корнеобитаемые среды нового поколения для растений на основе ионообменных смол / Т. Г. Янчевская [и др.] // Ботаника (исследования): сборник науч. трудов / Ин-т эксперим. бот. НАН Беларуси. – Минск: Колорград, 2016. – Вып. 45. – С. 386–394.
6. Янчевская, Т. Г. Оптимизация содержания катионов и анионов в среде корнеобитания для максимального коэффициента размножения картофеля *in vivo* / Т. Г. Янчевская, В. А. Бобров // Ботаника: исследования: сборник науч. трудов / Ин-т эксперим. бот. НАН Беларуси. – Минск: Право и экономика, 2008. – Т. 35. – С. 495–506.
7. Карасева, Е. Н. Адаптация растений на модифицированном ионообменном субстрате «Триона» / Е. Н. Карасева, Т. Г. Янчевская // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2015. – № 1. – С. 26–29.
8. Карасева, Е. Н. Оптимизация корнеобитаемой среды для роста и развития *Dioscorea alata* L. / Е. Н. Карасева // Молодежь в науке – 2021 : тез. докл. XVIII междунар. науч. конф. молодых ученых, Минск, 27–30 сент. 2021 г.: в 2 ч. / НАН Беларуси, Совет молодых ученых. – Минск, 2021. – Ч. 1. – С. 191.

Поступила в редакцию 12.04.2023 г.

УДК 58.04

К. Р. КЕМ¹, Н. А. ЛАМАН¹, В. А. ХРИПАЧ², Е. В. ЧЕРЕУХИНА³**ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИД-СОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА (*LINUM USITATISSIMUM* L.) И КАЧЕСТВО ЛЬНОВОЛОКНА**¹*Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: kem-666@mail.ru*²*Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*³*Институт льна Национальной академии наук Беларуси, Устье, Оршанский р-н, Витебская обл., Беларусь*

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы данные производственных экспериментов за 2020–2022 гг. Изучено влияние brassinosteroid-pesticide compositions on the yield and quality of flax fiber when sprayed in the phase of the stem extension (up to 25 cm). Результаты полевых опытов показывают, что обработка растений льна-долгунца композицией, включающей эпибрасинолид, N-фосфометилглицин и α-нафтилуксусную кислоту, имеет выраженное положительное влияние на формирование флоэмных элементов стебля – увеличивается количество волокон в пучке и толщина стенки элементарного волокна, что повышает прочность льноволокна на разрыв в 1,5–1,7 раза. Выявлены наиболее эффективные концентрации действующих веществ в составе смесей.

Ключевые слова: льноволокно, росторегуляция, brassinosteroids, epibrassinolide, N-phosphonomethylglycine, α-naphthylacetic acid, yield, breaking load.

K. R. KEM¹, N. A. LAMAN¹, V. A. KHRIPACH², E. V. CHEREUKHINA³**THE EFFECT OF BRASSINOSTEROID-CONTAINING COMPOSITION ON THE FORMATION OF FIBER FLAX (*LINUM USITATISSIMUM* L.) PRODUCTIVITY ELEMENTS AND THE QUALITY OF FIBER**¹*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: kem-666@mail.ru*²*Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*³*Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise "Institute of Flax", Ustye, Orsha dist., Vitebsk reg. Belarus*

Annotation. The article considers and analyzes the data of experiments for 2020–2022. The effect of brassinosteroid-pesticide compositions on the yield and quality of flax fiber when sprayed in the phase of the stem extension (up to 25 cm) was studied. The results of field experiments show that the treatment of fiber flax plants with a composition including epibrassinolide, N-phosphonomethylglycine and α-naphthylacetic acid has a pronounced positive effect on the formation of phloem elements of the stem - the number of fibers in the bundle and the wall thickness of the elementary fiber increase, which increases the strength of flax fiber to break by 1.5–1.7 times. The most effective concentrations of active substances in mixtures have been identified.

Keywords: flax fiber, growth regulation, brassinosteroids, epibrassinolide, N-phosphonomethylglycine, α-naphthylacetic acid, yield, breaking load.

ВВЕДЕНИЕ

Испокон веков человека привлекали прекрасные потребительские свойства льноволокна. В XVIII–XIX вв. мореплаватели использовали его для изготовления корабельных канатов, а хирурги в качестве льняных тампонов, бинтов и нитей при проведении операций. Льняные ткани и изделия из них отличаются большой прочностью и красотой. Они хорошо противостоят гниению и медленно изнашиваются. Льняная пряжа зна-

чительно прочнее хлопчатобумажной и шерстяной, уступая по прочности лишь шелку и волокну рами [1].

Наибольшего расцвета льноводство достигло в 1960–1980-е гг. Тогда посевные площади льна-долгунца в мире составляли около 1,5 млн. гектаров. Лен-долгунец является также одной из важнейших традиционных сельскохозяйственных культур белорусской земли. Республика

находится в благоприятной агроклиматической зоне для выращивания льна, однако в связи с высокой трудоемкостью возделывания культуры и сокращением трудовых ресурсов в сельской местности на сегодняшний день заметен некоторый спад производства в этой области [2]. Лен-долгунец выращивается в 46 районах Беларуси. Относительно успешным для льноводов был 2022 г. Если в 2021-м г. заготовили только 125 тысяч тонн тресты, то в 2022 г. – более 160 тысяч. Ее урожайность выросла с 30,4 до 36,3 центнера с гектара, средний номер соответственно с 0,84 до 0,98. Первичной переработкой льна в Беларуси занимаются 22 льнозавода и два производственных участка [3].

Выход волокна зависит от сорта и условий выращивания и может составлять 20–30% [4]. Толщина и длина стебля определяют такие важные качественные и технические характеристики как содержание волокна, степень лигнификации, устойчивость к полеганию [5]. При повышении толщины стебля возрастает число лубяных пучков и элементарных волокон, происходит укрупнение лубяных пучков, увеличивается диаметр элементарных волокон, что приводит к повышению выхода волокна [6]. Однако в стеблях большей толщины сильнее развивается вторичная ксилема, а лубяные пучки и волоконца становятся более грубыми, при этом снижается качество конечной продукции (крепость, гибкость, тонина). Для текстильной промышленности наиболее ценными являются тонкостебельные растения с большим выходом длинного волокна [4].

Высокая прочность волокна формируется в том случае, когда элементарные волокна, состав-

ляющие волокнистый пучок, имеют многогранную форму и плотную компоновку в пучке, а в составе их клеточных стенок и оболочек содержание лигнина незначительно. В технологическом отношении лигнин является нежелательным компонентом, так как придает волокну грубость, жесткость, резко снижает прочность и эластичность технических волокон.

Ориентирами при промышленном выращивании льна являются длина волокна и его прочность. Для высокого выхода длинного волокна требуется, чтобы номер тресты был 1,25 и выше [7]. Основной же объем производимого в стране сырья пока не достигает такого показателя. Этот параметр особенно важен, поскольку от качества волокна зависит не только уровень производства тканей, доходы предприятий, рост экспорта льняных изделий, но и уменьшение импорта для полноценной загрузки производственных линий льнозаводов, оснащенных современным оборудованием, и, в особенности, Оршанского льнокомбината [8]. Выращивание льна с высоким процентом выхода качественного длинного волокна – сложная задача, решение которой реализуется различными путями: созданием новых сортов, применением современных агротехнических приемов, использованием интегрированных средств защиты растений от болезней и вредителей, а также ростостимулирующих препаратов.

В настоящем исследовании изучено влияние композиций, включающих природные малотоксичные фитогормональные стимуляторы роста растений и N-фосфометилглицин в низкой негербицидной (стимулирующей рост) концентрации на урожайность и качество льноволокна.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в течение трех лет с 2020 г. по 2022 г. на базе РУП «Институт льна» (рис. 1), а. г. Устье, Оршанского района Витебской области.

Общие условия трехлетних испытаний:

1. *Культура и сорт* – лен-долгунец, сорт Грант.
2. *Почва, тип*: дерново-подзолистая; *механический состав*: средний суглинок; *содержание гумуса (%)*: 1,32–1,52; *кислотность*: рН_{KCl} 5,80
3. *Агротехнические условия проведения испытания*:
 - *предшественник растения, на котором проводится испытание*: озимая пшеница;
 - *обработка почвы*: общепринятая при выращивании льна-долгунца в данном регионе. Осень: основная обработка – лущение стерни на глубину 8–10 см, зяблевая вспашка на глубину 20–22 см. Весна: культивация для «закрытия влаги» на глубину 5–7 см, внесение удобрений и

заделка культиватором на глубину 8–10 см, финишная обработка АКШ-3,6;

внесение удобрений: перед посевом льна, д.в. N₁₈P₆₃K₉₆ кг/га;

норма высева семян: 22 млн. штук на гектар; способ сева – узкорядный, ширина междурядий – 7,5 см;

4. *Вид испытания*: полевой мелкоделяночный опыт;

5. *Площадь и расположение делянок*: опытной – 20 м²; учетной – 12,5 м², повторность четырехкратная. Расположение делянок рендомизированное;

6. *Фазы развития льна-долгунца в период применения препарата*: «елочка»;

7. *Способ применения препарата*: обработка посевов по вегетации;

8. *Тип и марка сельскохозяйственной машины*: ранцевый опрыскиватель;

9. *Проводимые учеты*: анализ анатомических срезов стеблей растений, отобранных в период начала бутонизации, подсчет урожайности льноволокна (короткого и длинного) и льносемян, конечное определение качества льноволокна (гибкость, разрывная нагрузка, номер волокна, горстевая длина, номер и группа).

10. *В экспериментах использованы препараты*: глифосат (N-фосфонометилглицин) (ГФ), α -нафтилуксусная кислота (α -НУК), эпибрассинолид (ЭБЛ), эпикастастерон (ЭКС) (табл.1).

Изучение поперечных анатомических срезов стеблей льна проводили с помощью микроскопа МБА (ТУ 14724552.048-97) с объективом БелЛомо ($10^x/0,25$) и камеры Naugar. Измерение линейных параметров отдельных структур осуществляли объект-микрометром ($1 \text{ DIV}=0,01\text{мм}$). Оценка урожайности льноволокна и определение его качества выполнена лабораторией качества льнопродукции РУП «Институт льна» НАН Беларуси.

Используемые брассиностероиды синтезированы лабораторией химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси.



Рис. 1. Опытные делянки льна-долгунца в производственном эксперименте по изучению действия брассиностероид-содержащих композиций (на базе Института льна)

Fig. 1. Fiber flax plots in a production experiment to study the effect of brassinosteroid-containing compositions (at the Flax Institute)

Таблица 1. Схемы опытов в трехгодичном эксперименте

Table 1. Experimental schemes in a three-year experiment

№	2020	2021	2022
1	Контроль (обработка водой)	Контроль (обработка водой)	Контроль (обработка водой)
2	Глифосат д.в. 6 г/га	Глифосат д.в. 6 г/га	α -НУК 150 г/га
3	α -НУК 100г/га	α -НУК 100г/га	Эпибрассинолид 30 мг/га
4	Эпибрассинолид 30мг/га	Эпибрассинолид 30 мг/га	Эпикастастерон 15 мг/га
5	Смесь ГФ + α -НУК 6 г/га + 100 г/га	Смесь ГФ + α -НУК + ЭБЛ 6 г/га + 100 г/га + 30 мг/га	Смесь ГФ + α -НУК + ЭБЛ 10 г/га + 150 г/га + 30 мг/га
6	Смесь ГФ + α -НУК + ЭБЛ 6 г/га + 100 г/га + 30 мг/га	Смесь ГФ + α -НУК + ЭБЛ 10 г/га + 150 г/га + 30 мг/га	Смесь α -НУК + ЭКС 150 г/га + 15 мг/га
7	-	-	Смесь ГФ + α -НУК + ЭКС 10 г/га + 150 г/га + 15 мг/га

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По итогам трехгодичных исследований продуктивности растений льна при обработке вегетирующих растений эпибрасинолидом, эпикастастероном, N-фосфонометилглицином, α -нафтилуксусной кислотой и композициями этих соединений были получены следующие результаты. Как и предполагалось ранее, совместное внесение компонентов брасиностероид-пестицидных композиций оказало наиболее выраженное положительное влияние на урожайность и формирование льноволокна. Каждый год по сумме исследуемых показателей композиция, состоящая из эпибрасинолида, глифосата и α -НУК, давала лучшие результаты по сравнению с контролем и вариантами обработки растений каждым из агентов по отдельности.

Так, в 2020 г. обработка смесью ГФ + α -НУК + ЭБЛ (6 г/га + 100 г/га + 30 мг/га), вариант №6 (табл. 2), превосходила показатели контрольного и других вариантов по толщине стенки элементарного волокна (+2,5 мкм), количеству элементарных волокон в пучке (+3,3 шт.), урожайности льносемян (+1,2 ц/га), урожайности льноволокна (+1,5 ц/га), урожайности длинного волокна (+1,3 ц/га) и разрывной нагрузке (+69,3% к контролю).

В 2021 г. этот же вариант, но под номером 5, смесь ГФ + α -НУК + ЭБЛ (6 г/га + 100 г/га + 30 мг/га) превосходил показатели контрольного и других вариантов по толщине коры (+7,8 мкм), соотношению коры и древесины, толщине стенки элементарного волокна (+1 мкм), количеству элементарных волокон в пучке (+5,2 шт.), урожайности льноволокна (+1,4 ц/га) и гибкости (+3 мм к контролю).

В 2022 г. вариант с таким же компонентным составом и близкими концентрациями №5 – смесь ГФ + α -НУК + ЭБЛ (10 г/га + 150 г/га + 30 мг/га) также характеризовался лучшими суммарными показателями по ряду признаков: толщине коры (+15,9 мкм), соотношению коры и древесины, толщине стенки элементарного волокна (+2,2 мкм), количеству элементарных волокон в пучке (+4,8 шт.), урожайности льносемян (+2,2 ц/га), урожайности льноволокна (+2,6 ц/га), урожайности длинного волокна (+1,6 ц/га) и горстевой длине (+3 см к контролю).

Таким образом, данная трехкомпонентная смесь показала наилучшие результаты среди всех исследуемых вариантов обработок. Данные по всем вариантам приведены в табл. 2–4.

Экспериментальные данные подтверждают, что, как и предполагалось ранее, трехкомпонентная смесь имеет наиболее выраженное положительное действие на растения льна-долгунца. Это, главным образом, обусловлено тем, что каждое действующее вещество, входящее в ее состав, воздействует на определенные биохимические процессы в клетках растений. Так, эпибрасинолид (как и другие брасиностероиды) выполняет стресспротекторную и адаптогенную функции, защищая растение от неблагоприятных факторов среды; α -нафтилуксусная кислота обладает ауксиноподобным действием и стимулирует за счет растяжения клеток, что особенно важно для получения высокого выхода длинного волокна; а глифосат, гербицидное действие которого осуществляется посредством блокировки шикиматного пути биосинтеза ароматических

Таблица 2. Биометрические показатели растений льна-долгунца и качественный анализ льноволокна за 2020 г.

Table 2. Biometric indicators of fiber flax plants and qualitative analysis of flax fiber for 2020

Вариант	Контроль	ГФ	α -НУК	ЭБЛ	ГФ + α -НУК	ГФ + α -НУК + ЭБЛ
Толщина коры, мкм	136,0 \pm 1,9	136,3 \pm 2,2	148,3 \pm 3,3	147,1 \pm 2,9	151,9 \pm 2,6	141,4 \pm 3,1
Толщина древесины, мкм	162,8 \pm 2,7	173,6 \pm 3,5	192,9 \pm 3,6	182,9 \pm 2,6	199,4 \pm 3,6	175,0 \pm 4,2
Кора/древесина	0,84 \pm 0,01	0,79 \pm 0,02	0,77 \pm 0,02	0,81 \pm 0,02	0,77 \pm 0,02	0,82 \pm 0,02
Диаметр элементарного волокна, мкм	23,9 \pm 0,36	26,1 \pm 0,38	24,2 \pm 0,38	24,3 \pm 0,38	27,0 \pm 0,38	28,2 \pm 0,34
Диаметр полости элементарного волокна, мкм	7,9 \pm 0,12	7,2 \pm 0,12	7,4 \pm 0,15	7,7 \pm 0,15	7,9 \pm 0,16	7,2 \pm 0,14
Толщина стенки элементарного волокна, мкм	8,0 \pm 0,15	9,4 \pm 0,17	8,4 \pm 0,15	8,3 \pm 0,15	9,6 \pm 0,15	10,5 \pm 0,15
Количество элементарных волокон в пучке, шт.	15,9 \pm 0,33	16,7 \pm 0,40	16,4 \pm 0,42	16,4 \pm 0,33	20,8 \pm 0,43	19,2 \pm 0,35
Урожайность льносемян, ц/га	9,6	10,0	10,7	10,8	9,7	10,8
Урожайность льноволокна общего, ц/га	13,9	14,3	15,3	15,5	14,6	15,4
Урожайность льноволокна длинного ц/га	8,7	8,9	10,0	10,0	9,6	10,0
Гибкость, мм	40	34	41	43	39	40
Разрывная нагрузка, Н	166	253	237	232	275	281
Номер волокна	9	10	10	10	10	10
Горстевая длина, см	55	53	55	55	54	53
Цвет, группа	2	2	2	2	2	2

Таблица 3. Биометрические показатели растений льна-долгунца и качественный анализ льноволокна за 2021 г.**Table 3.** Biometric indicators of fiber flax plants and qualitative analysis of flax fiber for 2021

Вариант	Контроль	ГФ	α -НУК	ЭБЛ	ГФ + α -НУК + ЭБЛ1	ГФ + α -НУК + ЭБЛ2
Толщина коры, мкм	216,8±3,9	215,4±3,2	222,3±3,8	214,6±3,0	224,6±3,1	221,0±3,7
Толщина древесины, мкм	280,7±3,2	262,9±5,1	237,7±3,7	285,7±5,7	254,7±5,3	296,4±5,3
Кора/древесина	0,78±0,02	0,83±0,02	0,95±0,02	0,76±0,02	0,90±0,02	0,75±0,02
Диаметр элементарного волокна, мкм	32,3±0,52	31,3±0,53	34,6±0,56	32,6±0,52	34,3±0,59	33,4±0,56
Диаметр полости элементарного волокна, мкм	8,5±0,15	32,3±0,52	8,1±0,16	8,8±0,15	8,6±0,17	9,2±0,17
Толщина стенки элементарного волокна, мкм	11,9±0,27	8,5±0,15	13,2±0,29	11,9±0,26	12,9±0,30	12,1±0,30
Количество элементарных волокон в пучке, шт.	18,0±0,45	11,4±0,26	22,0±0,36	19,9±0,43	23,2±0,45	16,4±0,43
Урожайность льносемян, ц/га	6,8	7,6	7,9	6,9	7,4	7,0
Урожайность льноволокна общего, ц/га	8,5	9,5	10,9	8,4	9,9	9,9
Урожайность льноволокна длинного ц/га	4,1	5,0	5,7	4,6	5,0	5,3
Гибкость, мм	42	45	39	41	45	43
Разрывная нагрузка, Н	164	162	170	172	162	167
Номер волокна	10	10	10	10	10	10
Горстевая длина, см	51	52	52	52	51	52
Цвет, группа	4	4	4	4	4	4

Таблица 4. Биометрические показатели растений льна-долгунца и качественный анализ льноволокна за 2022 г.**Table 4.** Biometric indicators of fiber flax plants and qualitative analysis of flax fiber for 2022

Вариант	Контроль	ЭКС	α -НУК	ЭБЛ	ГФ + α -НУК + ЭБЛ	α -НУК + ЭКС	ГФ + α -НУК + ЭКС
Толщина коры, мкм	136,0±1,9	136,3±2,2	148,3±3,3	147,1±2,8	151,9±2,5	141,4±3,1	142,9±2,5
Толщина древесины, мкм	162,8±2,7	173,6±3,4	192,9±3,6	182,9±2,5	179,4±3,5	175,0±4,1	180,4±3,5
Кора / древесина	0,8±0,01	0,79±0,02	0,77±0,03	0,80±0,02	0,85±0,02	0,81±0,02	0,79±0,02
Диаметр элементарного волокна, мкм	23,2±0,36	24,2±0,38	25,2±0,30	24,6±0,35	27,1±0,38	24,2±0,34	24,2±0,36
Диаметр полости элементарного волокна, мкм	7,8±0,13	7,2±0,12	7,9±0,19	8,2±0,15	7,3±0,16	8,1±0,14	7,5±0,16
Толщина стенки элементарного волокна, мкм	7,7±0,15	8,5±0,17	8,7±0,15	8,2±0,15	9,9±0,15	8,1±0,15	8,4±0,15
Количество элементарных волокон в пучке, шт.	16,0±0,39	16,2±0,36	19,4±0,49	16,4±0,38	20,8±0,43	18,2±0,33	16,7±0,41
Урожайность льносемян, ц/га	8,1	9,8	9	9,1	10,3	10	8,9
Урожайность льноволокна общего, ц/га	7,8	10	9,3	8,9	10,4	10,6	9,1
Урожайность льноволокна длинного ц/га	4,7	6,0	5,4	5,6	6,3	6,1	5,5
Гибкость, мм	37	38	43	43	37	33	34
Разрывная нагрузка, Н	188	185	191	189	182	173	179
Номер волокна	10	10	10	9	10	9	9
Горстевая длина, см	53	55	54	53	56	54	52
Цвет, группа	3	3	3	3	3	3	3

соединений, соответственно способствует снижению содержания лигнина в тканях растений, накопление которого негативно сказывается на качественных характеристиках льноволокна.

При анализе полученных данных становится заметно, что в разные годы действие смеси ГФ+ α -НУК+ЭБЛ несколько отличается, но во всех случаях наблюдается стимуляция различных параметров, характеризующих урожайность и качество конечной продукции. Это заметно

уже в период начала бутонизации, когда на анатомических срезах четко видны различия в формировании лубяных пучков изучаемых вариантов. У растений с обработкой смесью ГФ+ α -НУК+ЭБЛ меньше полость и толще стенка элементарного волокна, сами волокна меньшего диаметра, более многогранны в поперечном сечении и содержатся в пучке в большем количестве (рис. 2), что обеспечивает в итоге получение тонкого, крепкого волокна высокого качества [9].

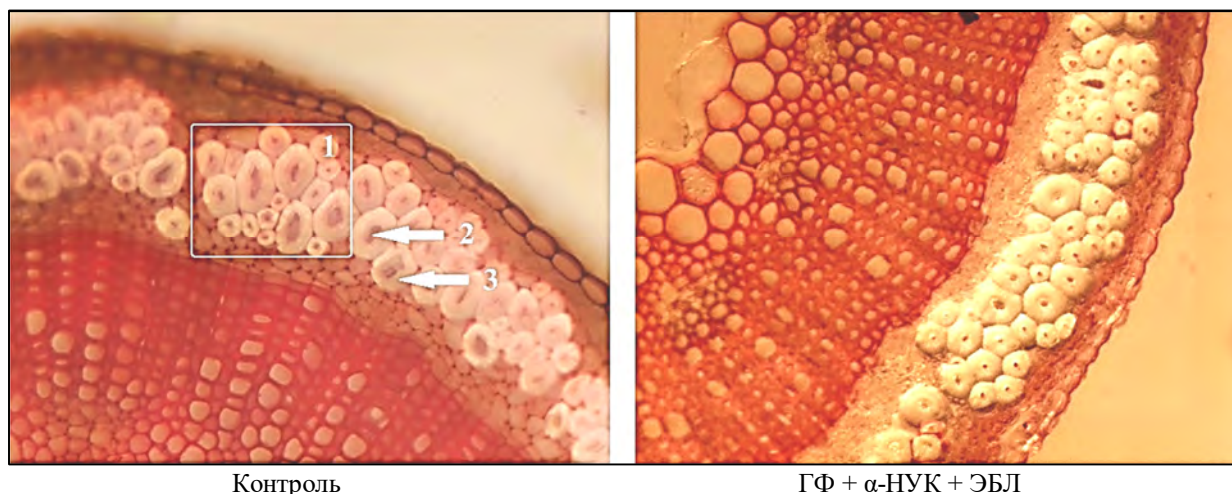


Рис. 2. Строение пучков элементарного волокна в контрольном варианте и при применении brassinosteroid-содержащей композиции:

1 – пучок технического волокна, 2 – полость элементарного волокна, 3 – стенка элементарного волокна

Fig. 2. The structure of bundles of elementary fiber in the control variant and when using a brassinosteroid-containing composition:

1 – bundle of technical fiber, 2 – cavity of the elementary fiber, 3 – wall of the elementary fiber

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты исследований, проведенных в длительном полевом опыте, показывают, что обработка льна-долгунца в фазу «елочки» ростостимулирующей композицией ГФ + α-НУК + ЭБЛ в дозе 6 г/га + 100 г/га + 30 мг/га приводит к увеличению урожайности льноволокна (на 1,4-2,6 ц/га по сравнению с контро-

лем) и повышению его качества, особенно разрывной нагрузки (прочности).

Под действием смеси также увеличивалась урожайность льносемян на 1,2-2,2 ц/га. Следовательно, применение изученной композиции можно рекомендовать как на производственных участках при выращивании сырья, так и в семеноводческих хозяйствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологический центр «Экосистема» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecosystema.ru/07refeats/cultrast/058.html>. – Дата доступа: 05.04.23.
2. Перспективы развития льноводческой отрасли Беларуси. [Электронный ресурс]. Продукт.ВУ – №2 (178), февраль 2017. – Режим доступа: <https://produkt.by/story/perspektivy-razvitiya-lnovodcheskoy-otrasli-belarusi>. – Дата доступа: 16.04.2023.
3. Интернет-издание Agronews [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://agronews.com/by/ru/news/agrosfera/2020-01-10/41835>. - Дата доступа: 05.04.23.
4. Объедков, М. Г. Лен-долгунец / М. Г. Объедков. – М: Россельхозиздат, 1979. – 223 с.
5. Хлопов, А. А. Анатомическое строение стебля и качество волокна новых отечественных сортов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) в условиях Кировской области / А. А. Хлопов [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – Т. 50, № 12. – С. 23–27.
6. Кубрак, С. В. Исследование селекционной ценности сортообразцов льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) с использованием компьютерной морфометрии / С. В. Кубрак [и др.] // Труды БГТУ, Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология, 2010. – №4, том 1. – С. 269–273
7. SB.VY: Беларусь сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/volokno-ne-terpit-ottenkov.html>. – Дата доступа: 05.04.2023.
8. SB.VY: Беларусь сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/nestandartnyy-podkhod-kreativnye-resheniya-i-vtoroe-dykhanie-lukashenko-o-novatsiyakh-dlya-pvt-i-vse.html>. – Дата доступа: 05.04.2023.
9. Льноводство: монография / А. Р. Рогаш [и др.]; отв. ред. А. Р. Рогаш. – Москва: Изд-во «Колос», 1967. – 583 с.

Поступила в редакцию 18.04.2023 г.

УДК 581.1.03:535.2

Т. Н. КУДЕЛИНА, Е. А. МАСЛЮКОВ, О. В. МОЛЧАН

РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ СООТНОШЕНИЯ КРАСНОГО И СИНЕГО ДИАПАЗОНОВ В ПОЛНОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ LED-ОСВЕЩЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: 10tan10@mail.ru*

Аннотация. Приведены результаты исследования воздействия полноспектрального LED-освещения с разными соотношениями красного и синего диапазонов (К/С 1, 2 и 4) и уровнем плотности потока фотонов $150 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ на рост растений томата сорта Ляна. При освещении с соотношением К/С 4 отмечены стимуляция накопления сухой массы надземной части в среднем в 2,1 раза, корневой системы – в 1,8 раза, увеличение длины главного корня – в 1,6 раза по сравнению с люминесцентным освещением. Рабочая адсорбирующая поверхность корневой системы при освещении данного спектрального состава увеличивалась в среднем в 2,2 раза, длина меристемы главного корня – на 22 %. При этом не было отмечено значимого увеличения длины стебля и междоузлий, характерного для растений в условиях низкой интенсивности освещения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методик выращивания растений в замкнутой контролируемой среде, оптимизации режимов LED-освещения для повышения эффективности культивирования растений.

Ключевые слова: LED-освещение, томат, корневая система, рост растений.

T. N. KUDELINA, E. A. MASLYUKOV, O. V. MOLCHAN

GROWTH PROCESSES IN TOMATO (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) PLANTS BY DIFFERENT RED / BLUE RATIOS IN FULL-SPECTRAL AND LOW INTENSITY LED-LIGHTING

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: 10tan10@mail.ru*

Annotation. The results of a study of the impact of full-spectrum LED lighting with different ratios of red and blue ranges (R/B 1, 2 and 4) and of photosynthetic photon flux density $150 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ on the growth of tomato plants of the Lyana variety are presented. When illuminated with a ratio of R/B 4, stimulation of the accumulation of dry mass of the aerial part was noted on average by 2,1 times, the root system – by 1,8 times, an increase in the length of the main root – by 1,6 times compared with fluorescent lighting. The working adsorbing surface of the root system under lighting of this spectral composition increased on average 2,2 times, the length of the meristem of the main root – by 22%. At the same time, there was no significant increase in the length of the stem and internodes, which is characteristic of plants under conditions of low light intensity. The results obtained can be used in the development of methods for growing plants in a closed controlled environment, optimizing LED lighting modes to increase the efficiency of plant cultivation.

Keywords: LED-lighting, tomato, root system, plants growth.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время свет рассматривается как самый эффективный фактор регуляции морфогенеза и повышения продуктивности различных культур [1, 2]. При искусственном освещении использование светодиодных (LED) облучателей является более предпочтительным по сравнению с традиционно используемыми натриевыми лампами высокого давления и люминесцентными [1,

2]. Технологии производства и использования светодиодов интенсивно развиваются, так как имеют ряд неоспоримых преимуществ. Прежде всего, использование светоизлучающих диодов, генерирующих монохроматический свет с очень малым потреблением энергии, создает возможность внедрения инновационных ресурсосберегающих технологий в растениеводстве. Главным

достоинством облучателей нового поколения является уникальная возможность перехода к оптимизации световых режимов культивирования в течение суточного цикла и онтогенеза в целом для эффективного использования механизмов тонкой фоторегуляции физиологических процессов в растениях. Возможность оптимизации спектральных характеристик LED облучателей позволяет не только обеспечить высокую продуктивность культуры, но и направленно влиять на качество продукции [1, 2]. Существуют различные способы регуляции морфологии растений, включая ирригационные манипуляции, изменение температурного профиля и использование регуляторов роста растений. Тем не менее, возможность с помощью светодиодов управлять световым спектром позволяет оптимизировать морфологию растений без химического вмешательства [3]. Путем составления комбинации из светодиодов разных цветовых групп можно получить источник света с практически любым спектральным составом в области физиологически активного излучения и эффективно управлять морфогенезом растений и качеством получаемой продукции [4–6]. При этом требования растения к спектральному составу и интенсивности излучения являются видо- и сортоспецифичными и зависят от стадии развития растения, а множественные взаимодействия между различными системами восприятия света обуславливают важную роль соотношения разных спектральных областей. Это затрудняет идентификацию оптимальных режимов LED-освещения для культивирования растений [1]. Таким образом, системный подход к разработке научно обоснованных методов круглогодичного производства овощной продукции с использованием LED источников света становится приоритетным для биологической и сельскохозяйственной науки.

При выращивании томата LED облучатели могут использоваться в качестве как основного источника света, так и дополнительного, при этом исследования по поиску наиболее выгодного спектра продолжают. В ряде работ показано, что LED-технологии могут повышать всхожесть семян томата относительно естественного освещения, способствовать улучшению биометрических показателей и образованию биомассы [7–9]. LED-освещение с соотношением красный (К) / зеленый (З) / синий (С) 60/10/30% способствовало более активному росту и образованию боковых побегов, большему накоплению биомассы [9]. Освещение с соотношением К/З/С/дальний красный (ДК) 55/20/20/15% способствовало увеличению содержания фотосинтетических пигментов, а в плодах томата увеличивалось содержание мо-

носахаров и аскорбиновой кислоты, при этом энергозатраты на производство 1 кг сухой массы были меньше в 2 раза [10]. В другом исследовании отмечено, что LED-освещение с соотношениями К/З/С 6/41/43 и 6/12/15 приводило к уменьшению высоты растений, снижению продуктивности и массы плодов, а при К/З/С 1/2/2 урожайность и масса плодов увеличивались [11]. Накопление биомассы рассады томатов снижалось с увеличением доли синего света (в диапазоне 27–61%), также уменьшалась площадь листьев и длина стебля, растения становились более компактными. Дополнение синих и красных светодиодов зелеными или белыми смягчало негативное влияние синего света [12]. Более высокое содержание сухого вещества, растворимых сахаров, фотосинтетических пигментов и общего количества фенольных соединений было обнаружено в растениях томатов, когда синий и красный свет дополняли зеленым [13]. Использование белых светодиодов повышало фотосинтетическую активность и массу листьев томата по сравнению с монохроматическим красным или синим [14]. Таким образом, очевидно, что некоторые комбинации синих, красных, зеленых и дальних красных светодиодов положительно влияют на морфологию, эффективность фотосинтеза, цветение, урожайность и качество плодов томата. Однако результаты значительно варьируют, зависят от сорта и фазы развития растений томата. Оптимальный спектральный состав для культивирования растений томата пока не выявлен [15].

Кроме того, к настоящему времени практически не изучено влияние различных композиций полноспектрального LED-освещения на структуру и функциональную активность корневой системы растений томата, в т.ч. длину меристемы и диаметр корней, а также площадь рабочей адсорбирующей поверхности. При этом для роста, развития и повышения адаптивного потенциала растения крайне важна поглотительная способность корня, которая зависит от площади поверхности молодых корней и корневых волосков, активно поглощающих воду и минеральные элементы. Активный рост и увеличение площади адсорбирующей поверхности корня может усилить потоки пластических веществ в донорно-акцепторной системе растения, регулирующей коррелятивные взаимодействия корневой системы и надземных органов.

Целью данной работы было изучение воздействия полноспектрального LED-освещения с низким уровнем плотности потока фотонов и варьируемым содержанием красного и синего диапазонов на ростовые процессы и биометрические показатели корневой системы растений томата.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования использовали растения томата *Solanum lycopersicum* L. сорта Ляна. Семена проращивали в стеклянных чашках Петри на протяжении 4 суток, после чего проростки помещали в пластиковые контейнеры на половинную среду Мурасиге-Скуга. Растения выращивали в течение 25 суток при плотности потока фотонов (ППФ) $150 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и продолжительности светового периода 16 часов.

В данной работе использовали уникальную осветительную систему, изготовленную в Центре светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси по техническому заданию Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси. Уникальность этой осветительной системы в том, что она имеет отдельные регуляторы для каждой из областей спектра и позволяет создавать любые спектральные композиции. Следует также упомянуть, что в данной работе использовали свет низкой интенсивности, поскольку счита-

ется, что значение $250 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ для выращивания рассады томата является низким, 450 – средним, 650 – высоким уровнем ППФ [19].

Для освещения растений были использованы люминесцентные и LED-облучатели. В заданных спектрах (табл.1) достоверно различались значения ППФ в красной и синей областях, различия в зеленом и дальнем красном диапазоне были незначительны. Соотношения К/С в LED1, LED2 и LED3 составляли 1, 2 и 4, соответственно. Спектральный состав и уровень ППФ определяли с помощью спектрорадиометра MC-12 (Беларусь).

После 25 суток вегетации (рис. 1) определяли сырую и сухую массу корневой системы и надземной части растений, рабочую адсорбирующую поверхность корневой системы, длину меристематической зоны и диаметр в начале зоны растяжения главного и боковых корней. Для измерения длины меристемы и диаметра корня фиксировали в 70%-ном этаноле, после чего ополас-

Таблица 1. Характеристика вариантов освещения

Table 1. Characteristics of lighting options

Характеристика освещения	Диапазон длин волн, нм	Вариант освещения			
		LL	LED 1	LED 2	LED 3
ППФ (плотность потока фотонов), %	400–499	24	35	25	14
	500–599	21	15	14	18
	600–699	51	38	50	55
	700–800	4	12	11	13
Соотношение К/С диапазонов спектра		2	1	2	4
Соотношение К/ДК диапазонов спектра		14	3	5	5



Рис. 1. Растения томата, культивируемые при освещении различного спектрального состава в течение 25 суток

Fig. 1. Tomato plants cultivated under illumination of different spectral composition during 25 days

кивали дистиллированной водой и переносили в 50%-ный глицерин [16]. С помощью микроскопа Optec Kern-DBS400 и камеры DeltaPix Invenio SSIII делали фотоснимки корней, по которым далее с помощью программы ImageJ измеряли длину меристематической зоны и диаметр корня. Площадь рабочей адсорбирующей поверхности корней определяли методом Сабинина-Колосова [17, 18]. Метод основан на адсорбции метилевого синего на поверхности корней. Для определения площади адсорбирующей поверхности корни трехкратно последовательно погружали в растворы метилевого синего на 1,5 минуты, опытные растворы разбавляли дистиллированной водой в 10 раз и измеряли их оптическую

плотность при 664 нм с помощью спектрофотометра СФ-2000. По изменению концентрации красителя в растворе до и после погружения корней рассчитывали площадь адсорбирующей поверхности корней. Эксперименты проводили в четырехкратной повторности. Объем экспериментальной выборки в каждом варианте составил 8 растений. Сравнивали растения, выращенные под люминесцентным и тремя вариантами LED-освещения (см. рис. 1).

Данные на гистограммах представлены в виде средних арифметических значений со стандартным отклонением. Разными буквами обозначены достоверно различающиеся варианты при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из наиболее существенных характеристик эффективности культивирования различных культур является интенсивность ростовых процессов. Поэтому прежде всего были оценены длина стебля и главного корня, масса корней, надземной части и всего растения, а также площадь листьев растений томата (рис. 2). В значениях длины стебля между вариантами не наблюдали достоверных различий. При LED 3 отмечено значимое увеличение длины главного корня и массы корней по сравнению с другими вариантами освещения (см. рис. 1 б, г). Сухая масса надземной части, и всего растения, а также площадь листьев при LED 3 и LED 2 были значимо выше, чем при варианте LED 1 (см. рис. 2 в, д, е).

Ранее в работе других авторов было показано, что при соотношениях С/З/К/ДК 23/8/65/4 и 16,4/6,5/50,5/26,6 и интенсивности 140 $\text{мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ высота 48-дневных растений томатов составляла $11,7 \pm 4,23$ и $27,8 \pm 7,5$ см соответственно [20]. Таким образом, биометрические параметры растений при использовании нами полноспектральных LED источников света сравнимы с литературными данными.

Одной из наиболее важных структур при изучении особенностей влияния какого-либо фактора на процессы роста и развития является корневая система растений. Через нее поглощается основная часть поступающих в растение веществ. Кроме того, корневая система обладает высокой чувствительностью и сравнительно высокой скоростью роста. Благодаря этому в корне можно наблюдать первичные реакции растения на действие внешних факторов, при этом изменение роста корня довольно легко фиксировать [21, 22]. Важнейшие характеристики корневой системы – ее масса и поглотительная способность. Поглотительная способность зависит от

длины корней, их физиологической активности и соотношения деятельной и недейтельной поверхности. К деятельной или рабочей адсорбирующей поверхности относят поверхность молодых корней и корневых волосков, интенсивно поглощающие элементы минерального питания и воду. К недейтельной относят поверхность старых корней, лишенных корневых волосков и покрытых пробкой, которые слабо участвуют в процессах поглощения минеральных элементов и воды. Поэтому большая общая и адсорбирующая поверхность корней характерна для более продуктивных растений [17].

В данной работе были установлены размеры адсорбирующей поверхности корневой системы растений томата, культивируемых при различных вариантах светодиодного и люминесцентного освещения. Было показано, что рабочая адсорбирующая поверхность при варианте освещения LED 3 с максимальным содержанием красного света ($K/C = 4$) была значимо выше, чем при вариантах LL и LED 1, что, по-видимому, свидетельствует о большем количестве корневых волосков (рис. 3).

Растущая часть корня состоит из меристемы и зоны растяжения. Было также изучено влияние света разного спектрального состава на диаметр в начале зоны растяжения и длину меристематической зоны главного и боковых корней (рис. 4). Установлено, что при различных вариантах освещения длина меристемы главного корня изменялась более значимо, чем длина меристемы боковых корней, и при LED 3 была гораздо выше, чем при других режимах освещения (см. рис. 4, а). В диаметре главного и боковых корней в зоне латерального корневого чехлика не было значимых различий между исследуемыми группами (см. рис. 4, б).

Таким образом, полученные результаты показывают, что длина меристемы, рабочая адсорбирующая поверхность, сырая и сухая масса

корневой системы томата особенно значительно увеличиваются при освещении с наиболее высоким соотношением К/С 4.

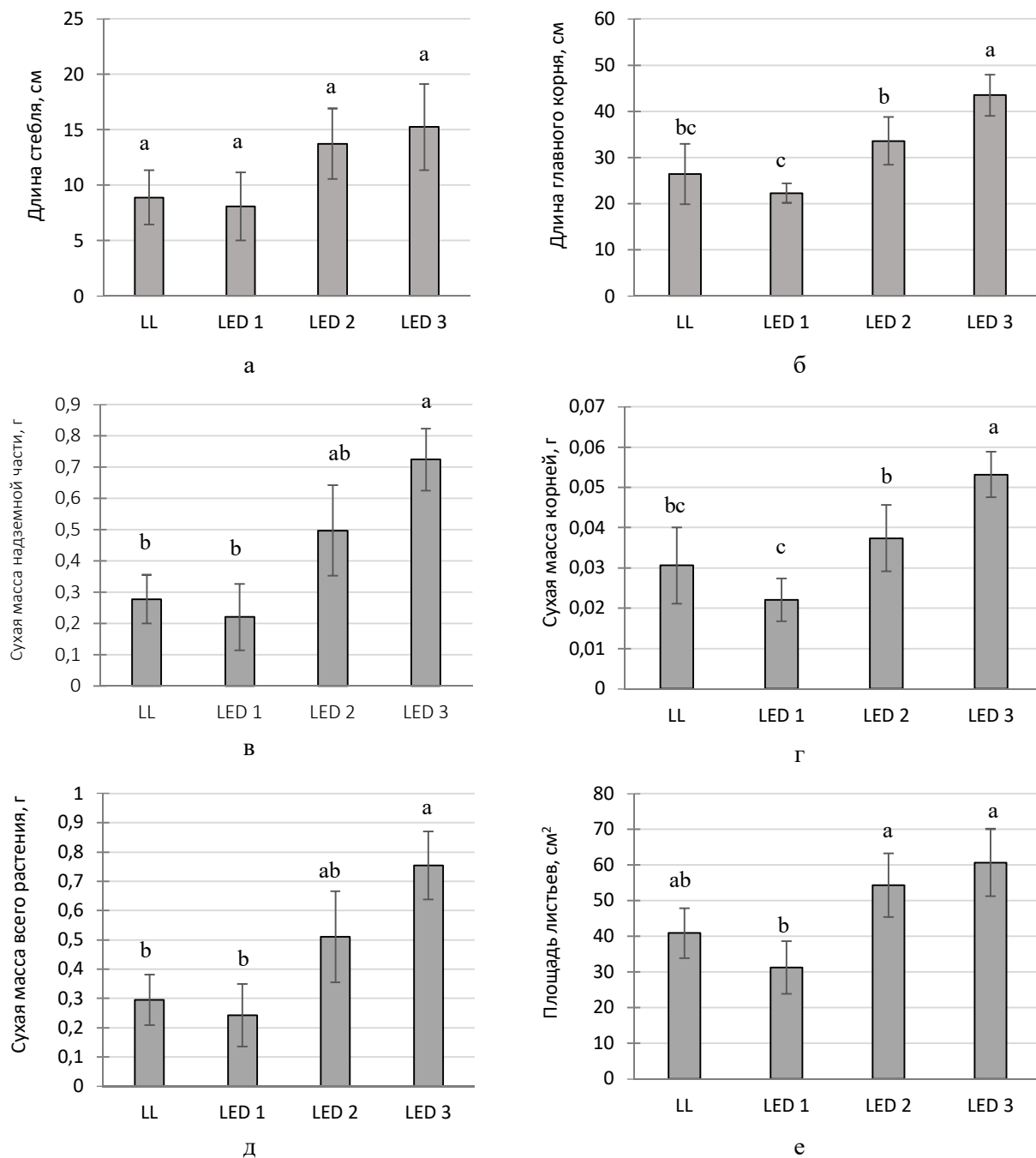


Рис. 2. Влияние освещения различного спектрального состава на рост и накопление биомассы надземной части и корневой системы растений томата (а – длина стебля, б – длина главного корня, в – сухая масса надземной части, г – сухая масса корней, д – сухая масса всего растения, е – площадь листьев)

* разными буквами обозначены достоверно различающиеся варианты при $p \leq 0,05$

Fig. 2. Influence of illumination with different spectral composition on the growth, accumulation of shoots and roots biomass of tomato plants (a – stem length, б – length of the main root, в – dry weight of shoots, д – dry weight of roots, е – dry weight of the whole plant, е – leaf area)

* different letters indicate significantly various variants at $p \leq 0.05$

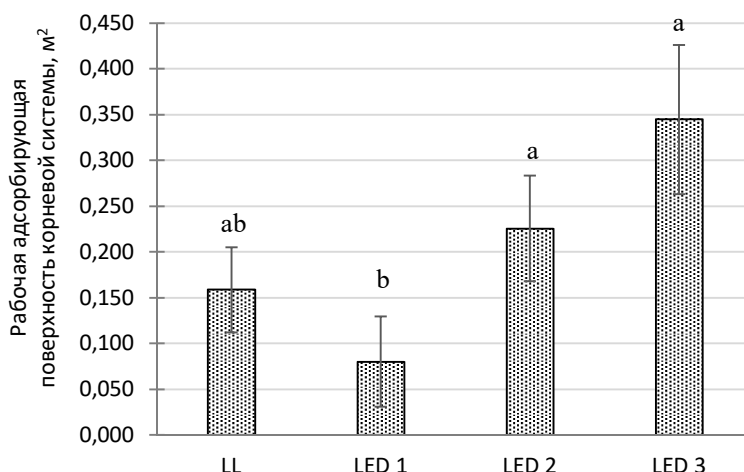


Рис. 3. Влияние освещения различного спектрального состава на площадь рабочей адсорбирующей поверхности корней
* разными буквами обозначены достоверно различающиеся варианты при $p \leq 0,05$

Fig. 3. Influence of illumination of different spectral composition on the area of the working adsorbing surface of roots
* different letters indicate significantly various variants at $p \leq 0.05$

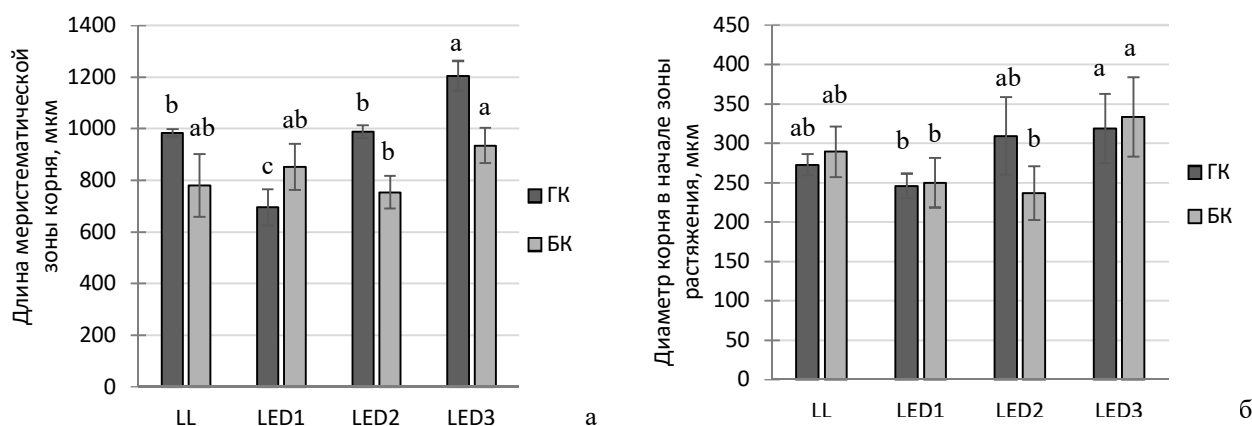


Рис. 4. Влияние освещения различного спектрального состава на длину меристемы и диаметр главного (ГК) и боковых (БК) корней томата
* разными буквами обозначены достоверно различающиеся варианты при $p \leq 0,05$

Fig. 4. Effect of illumination of different spectral composition on the meristem size and diameter of tomato roots
* different letters indicate significantly various variants at $p \leq 0.05$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что полноспектральное низкоинтенсивное LED-освещение с К/С 4 стимулировало ростовые процессы листьев и корней 25-дневных растений томата. При этом не было отмечено значимого увеличения длины стебля и междоузлий, обычного для растений в условиях недостатка освещения. Наблюдаемое при освещении с оптимальной спектральной композицией (LED 3) улучшение показателей развития корневой системы (длины меристематической зоны и площади адсорбирующей поверхности

корней) вероятно приводило к ускорению развития. При этом очевидно, что оптимизация спектрального состава позволяет эффективно управлять морфогенезом и вероятно будет способствовать лучшему укоренению и повышению адаптивного потенциала растений (рассады) при пересадке. Данный подход, позволяющий значительно снижать энергозатраты при культивировании растений, по-видимому, может быть адаптирован и для других культур.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б21М-097).

ЛИТЕРАТУРА

1. Закурин, А. О. Светокультура растениеводства защищенного грунта: фотосинтез, фотоморфогенез и перспективы применения светодиодов / А. О. Закурин // Физиология растений. – 2020. – Т. 67. – №3. – С. 246–258.
2. Zheng, L. Application of Light-emitting Diodes and the Effect of Light Quality on Horticultural Crops: A Review / L. Zheng, H. He, W. Song // HortScience. – 2019. – Vol. 54. – No.10. – P. 1656–1661.
3. Islam, M. A. Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps / M. A. Islam [et al.] // Scientia Hort. – 2012. – Vol. 147. – P. 136–143.
4. Al Murad, M. Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops / M. Al Murad [et al.] // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – N. 4. – P. 1985.
5. Petre, A. A. Effects of the use of led lighting in greenhouses / A. A. Petre [et al.] // Acta technica corviniensis Bulletin of Engineering Tome. – 2021. – Vol. 14. – N. 1. – P. 141–146.
6. Sipos, L. Horticultural lighting system optimalization: A review / L. Sipos [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2020. – Vol. 273. – P.109631.
7. Малахова, С. Д. Влияние светодиодных ламп нового поколения на рост и развитие томата / С. Д. Малахова [и др.] // Известия ФНЦО. – 2019. – №1. – С. 105–107.
8. Ракутько, С. А. Энергоэффективность применения светодиодных источников излучения в светокультуре / С.А. Ракутько, А. Е. Пацуков // Lighting Engineering & Power Engineering. – 2013. – №. 2. – С. 18–22.
9. Ракутько, С. А. Определение эффективности светодиодных источников облучения при выращивании рассады томата и огурца / С. А. Ракутько [и др.] // АгроЭкоИнженерия. – 2013. – № 84. – С. 82–89.
10. Смирнов, А. А. Светодиодный фитооблучатель для выращивания томата / А. А. Смирнов // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – №. 3 (24). – С. 72–80.
11. Кулешова, Т. Э. Влияние различных источников света на продукционный процесс томата в интенсивной светокультуре / Т. Э. Кулешова [и др.] // Овощи России. – 2021. – № 4. – С. 65–70.
12. Kalaitzoglou, P. Unraveling the effects of blue light in an artificial solar background light on growth of tomato plants / P. Kalaitzoglou [et al.] // Environmental and Experimental Botany. – 2021. – Vol. 184. – P. 104377.
13. Wojciechowska, R. LED lighting affected the growth and metabolism of eggplant and tomato transplants in a greenhouse / R. Wojciechowska [et al.] // Horticultural Science. – 2020. – Vol. 47. – N. 3. – P. 150–157.
14. Yang, X. Response of photosynthetic capacity of tomato leaves to different LED light wavelength / X. Yang [et al.] // Environmental and Experimental Botany. – 2018. – Vol. 150. – P. 161–171.
15. Jung, W. S. Application of Light-Emitting Diodes for Improving the Nutritional Quality and Bioactive Compound Levels of Some Crops and Medicinal Plants / W. S. Jung [et al.] // Molecules. – 2021. – Vol. 26. – P. 1477.
16. Быстрова, Е. И. Зависимость процессов роста и деления клеток в корне от его диаметра / Е. И. Быстрова, Н. В. Жуковская, В. Б. Иванов // Онтогенез. – 2018. – Т. 49. – № 2. – С. 91–100.
17. Колосов, И. И. Способ определения поглощающей поверхности корней / И. И. Колосов // Сов. агрономия. – 1939. – № 12. – С.46.
18. Бородкина, А. Г. Физиологические показатели корневой системы *Solanum tuberosum* при деструкции микротрубочек / А.Г. Бородкина, И. Ю. Макеева // Естественные и гуманитарные науки в современном мире: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Орёл, 01–03 июня 2022 г.). – Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, 2022. – С. 60–66.
19. Utasi, L. Threshold or not: Spectral composition and light-intensity dependence of growth and metabolism in tomato seedlings / L. Utasi [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2023. – Vol. 313. – P. 111946.
20. Ракутько, С. А. Влияние соотношения красного и дальнекрасного излучения на рост и развитие рассады томата (*Solanum lycopersicum*) / С. А. Ракутько, Е. Н. Ракутько, А. Н. Васькин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №. 8–2. – С. 136–140.
21. Иванов, В. Б. Проростки огурца как тест-объект для обнаружения эффективных цитостатиков / В. Б. Иванов, Е. И. Быстрова, И. Г. Дубровский // Физиология растений. – 1986. – Т. 33. – С. 195–199.
22. Иванов, В. Б. Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия / В. Б. Иванов, Е. И. Быстров, И. В. Серегин // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – № 3. – С. 445–454.

Поступила в редакцию 19.05.2023 г.

УДК 630*443.2*414:631*812

И. А. МАШКИН, В. П. ШУКАНОВ, Е. В. МЕЛЬНИКОВА,
Л. А. КОРЫТЬКО, С. Н. ПОЛЯНСКАЯ**ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТОК ПОБОЧНЫМИ ПРОДУКТАМИ
ОТ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕПАРАТА ОКСИГУМАТ НА ВСХОЖЕСТЬ
СЕМЯН И РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)***Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: patphysio@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных и полевых опытов, направленных на выявление действия отходов (побочных продуктов химической деструкции торфа), образующихся при получении регулятора роста Оксигумат, на качество посевного и посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Проведенные исследования позволили доказать положительное влияние предпосевных и внекорневых обработок отходами от производства препарата Оксигумат на качество семян и сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как в лабораторных условиях, так и на базе стационарного питомника. Показано, что при использовании в баковой смеси отходов от производства регулятора роста Оксигумат наблюдается статистически достоверное повышение энергии прорастания и технической всхожести семян сосны, активируются рост и процесс фотосинтеза сеянцев, а также повышается целостность клеточных мембран хвои растений.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, семена, сеянцы, регуляторы роста, Оксигумат, отходы, пигменты фотосинтеза, мембраны клеток.

I. A. MASHKIN, V. P. SHUKANOV, E. V. MELNIKOWA, L. A. KORYTSKO, S. N. POLYANSKAYA

THE EFFECT OF WASTE CHEMICAL DESTRUCTION PEAT (WASTE) PRODUCTION OF OXYHUMAT FOR THE GROWTH OF SEEDS AND SEEDINGS OF PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: patphysio@mail.ru*

Annotation. The article is devoted to the description of the results of laboratory and field experiments devoted to identifying the effect of waste (by-products of the chemical destruction of peat) generated during the production of the growth regulator Oxygumat on the growth of seed and planting material of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The studies carried out allowed to prove the positive effect of pre-sowing and foliar treatments with waste from the production of growth regulator Oxygumat on the quality of seeds and seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) both in laboratory conditions and on the basis of a permanent nursery. An improvement in the germination energy and technical germination of seeds of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) was noted, as well activation of plant photosynthesis processes and increase in the integrity of plant cell membranes when using waste from the production of growth regulator Oxyhumate for seed and seedling treatment.

Keywords: Scots pine, seeds, seedlings, growth regulators, Oxygumat, waste, photosynthesis pigments, cell membranes.

ВВЕДЕНИЕ

Препараты гуминовой природы долгое время исследуются рядом научных коллективов и нашли широкое применение как в сельском, так и в лесном хозяйстве. Известно, что гуминовые вещества не синтезируются в растениях, но в значительных количествах образуются при разложении растительных и животных остатков

под действием микроорганизмов и абиотических факторов окружающей среды [1]. Как правило, внесение гуминовых веществ в почву и обработка ими растений приводит к активации ростовых процессов живых организмов. Это достигается как за счет структурирования почвы и большей проходимости в ней кислорода, так и

за счет способности гуминовых веществ накапливать в доступной форме полезные для растений вещества и адсорбировать ксенобиотики, а также ионы металлов, что уменьшает их биодоступность и миграционную способность. При этом гуминовые вещества характеризуются крайней гетерогенностью структуры, включающей гидроксильные, карбоксильные, карбонильные группы, и нестехиометричностью состава, однако наиболее реакционноспособной их частью являются гуминовые кислоты, которые и выступают в качестве действующих компонентов в препаративных формах [2, 3].

Гуминовые удобрения и препараты получают из природного сырья – торфа, бурого угля, сапропеля [1, 4]. Особый интерес к ним обусловлен сравнительно низкой стоимостью производства, безопасностью для окружающей среды и доказанной эффективностью в стимулировании роста и болезнестойкости растений. Наиболее распространенными и широко известными препаратами отечественного производства, со-

держащими гуминовые кислоты, являются регуляторы роста Оксигумат, Гидрогумат, Оксидат торфа, разработанные на базе Института природопользования НАН Беларуси. Весомая доля производства в Беларуси сосредоточена на промышленных установках ООО «Фермент» (г. Брест) и ЧПУП «ЧервеньАГРО» (г. Червень), однако до сих пор остатки (отходы), остающиеся после отделения целевого продукта в центрифуге, не нашли достойного и научно обоснованного применения, несмотря на то что существуют исследования, указывающие на наличие в них весомого процента гуминовых веществ, а также легкогидролизуемых соединений, лигнина и битумов. На данный момент остатки от производства гуминовых препаратов либо утилизируют, либо компостируют в течение года с навозом и ненормированно, по сути бесконтрольно вносят на поля фермерских угодий. Это происходит и, тем самым упускается реальный научный и экономический потенциал [4–8].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования выступали семена (первый класс качества) и сеянцы (возраст 90 дней) сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой и открытой корневой системой. Первым этапом работы были лабораторные опыты на посевном и посадочном материале с закрытой корневой системой, а затем исследовали сеянцы с открытой корневой системой, выращенные на территории постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз». По составленной схеме опытов (табл. 1) семена перед высевом замачивали и инкрустировали с использованием пленкообразующего микроудобрения Гисинар-М, гуминовым препаратом Оксигумат и остатками, полученными от его производства в 2020 г. на промышленных установках ООО «Фермент».

Гисинар-М – пленкообразующее микроудобрение, содержащее хелатный и органоминеральный комплекс макро- и микроэлементов (В, N, Mg, Cu, Zn и Mn). Представляет собой вязкий по консистенции полиэлектролитный гидрогель, получаемый из натриевой соли акриловой кислоты и водорастворимого сополимера акриламида. Препарат применяют для инкрустации семян, а также корневых и внекорневых обработок вегетирующих растений. Включение пленкообразователя в баковые смеси с другими компонентами способствует их более прочному закреплению и уменьшению расхода. Препарат Гисинар-М разработан в ГУ БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» и на данный мо-

мент на рынке представлен продукцией ООО ШАУЭР ГРУПП, действующему по лицензионному соглашению [9–11].

Оксигумат – гуминовый регулятор роста растений, который производят путем окисления торфа пероксидом водорода в щелочной среде. Оксигумат является продуктом предварительного щелочного гидролиза, а затем окисления торфяного сырья в присутствии катализирующих агентов, обеспечивающих более глубокую деструкцию органических компонентов торфа и в том числе его гуминовых веществ, углеводного комплекса и даже в незначительной степени и негидролизуемого остатка. Он представляет собой сложный по химическому составу продукт, представленный не только окисленными гуминовыми кислотами (около 50%), но и широким спектром карбоновых, оксикарбоновых, фенолкарбоновых кислот. При этом препарат экологически безопасен и имеет IV класс опасности [8]. Отходы (остатки или побочные продукты химической деструкции торфа) при производстве гуминовых препаратов образуются после отделения их от целевых продуктов на стадии центрифугирования. Они представляют собой увлажненную пастообразную массу темно-коричневого цвета с запахом аммиака или щелочи. Остатки содержат большое количество гуминовых веществ (до 30%), в связи с тем, что технологиями производства Оксигумата не предусмотрена стадия промывки остатков после центрифугирования [4–6].

Опыты с семенами проводили в чашках Петри согласно ГОСТу 13056.6-97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести». На увлажненную фильтровальную бумагу высевали обработанные семена по 100 штук в четырехкратной повторности, а после на седьмые и десятые сутки определяли их энергию прорастания, на пятнадцатые – техническую всхожесть (в процентах). Также рассчитывали средний семенной покой (в днях), отражающий скорость прорастания посевного материала [12].

Выявленные наиболее эффективные для повышения посевных качеств семян дозировки компонентов баковых смесей на следующем этапе работы использовали для лабораторных опытов на сеянцах с закрытой корневой системой. Для этого замоченные либо инкрустированные семена высевали в кассеты для посадочного материала типа Plantek 35F на глубину около 1 см (по 2 штуки в ячейку). Кассеты заполняли специальным грунтом для выращивания сеянцев хвойных пород растений. Повторность опыта – четырехкратная [9–11].

В полевых условиях сеянцы с открытой корневой системой обрабатывали Оксигуматом и остатками от его производства одно или двукратно с интервалом в 1 месяц посредством экзогенного внесения во время вегетации (см. табл. 1). Предварительно весной 2022 г. на территории постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз» высевали семена по пятистрочной схеме безрядковым ленточным способом, с промежутками 25 см и строкой шириной около 5 см [13]. В пределах опытного участка (площадь 0,3 га) случайным образом для каждого варианта были разбиты двухметровые делянки в четырехкратной повторности. Опыты в открытом грунте продолжались на протяжении 3-х месяцев.

Для оценки влияния препаратов и отходов от их производства на морфобиометрические параметры растений у случайно отобранного посадочного материала с закрытой и открытой корневой системой определяли длину корня и надземной части, диаметр корневой шейки. Обмер производили стандартными инструментами: длину надземной и подземной части – с помощью линейки с миллиметровыми делениями, диаметр прикорневой шейки – штангенциркулем. Длину надземной части измеряли по оси стволика от прикорневой шейки до основания верхушечной почки, а подземной части – от прикорневой шейки до окончания корня [11, 13].

На физиолого-биохимическом уровне оценивали такие параметры растений как содержание пигментов фотосинтеза в свежей хвое и целостность клеточных мембран.

Содержание фотосинтетических пигментов в хвое сеянцев определяли трех-волновым методом из ацетоновой вытяжки [14–16]. Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* и их сумму рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для ацетона [11, 15]. Концентрацию каротиноидов в вытяжке пигментов вычисляли с использованием уравнения Ветшттейна [17–19]. Изменение проницаемости мембран определяли по выходу водорастворимых веществ из тканей растений (хвои) с помощью портативного многодиапазонного кондуктометра HI-8734 (в мг/л) [9, 15].

Статистический анализ данных, полученных в ходе исследования, осуществлялся с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2013. Для проверки значимости и достоверности полученных данных рассчитана ошибка среднего и парный двухвыборочный *t*-критерий Стьюдента (нулевая гипотеза на уровне значимости $P \leq 0,05$) [20–21].

Таблица 1. Схема опытов по обработке семян и сеянцев

Table 1. Scheme of experiments on the treatment of seeds and seedlings

Вариант опыта Experience option	Способ обработки Method of processing	Время, ч Time (in hours)	Расход раствора Solution consumption
Контроль (вода)	Замачивание	24	10 л/т семян
Оксигумат 2 мл/л	Замачивание	24	10 л/т семян
Оксигумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	Инкрустация	0,1	10 л/т семян
Оксигумат (остаток) 1 мл/л	Замачивание	24	10 л/т семян
Оксигумат (остаток) 2 мл/л	Замачивание	24	10 л/т семян
Оксигумат (остаток) 4 мл/л	Замачивание	24	10 л/т семян
Оксигумат (остаток) 1 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	Инкрустация	0,1	10 л/т семян
Оксигумат (остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	Инкрустация	0,1	10 л/т семян
Оксигумат (остаток) 4 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	Инкрустация	0,1	10 л/т семян
Оксигумат 30 мл/га (1 раз)	Внекорневая	–	3 л/га
Оксигумат 30 мл/га (2 раза)	Внекорневая	–	3 л/га
Оксигумат (остаток) 30 мл/га (1 раз)	Внекорневая	–	3 л/га
Оксигумат (остаток) 30 мл/га (1 раз)	Внекорневая	–	3 л/га

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние физиологически активных веществ на растительный организм необходимо оценивать комплексно, начиная с ранних стадий развития, так как успешное прорастание семени, заключающееся в нормальном и быстром формировании корневой системы, а также проростка, является залогом дальнейшего активного роста сеянцев. Из полученных в лабораторных условиях экспериментальных данных видно, что осуществленное предпосевное внесение регулятора роста Оксигумат и отходов от его производства оказывают стимулирующее влияние на энергию прорастания и техническую всхожесть посевного материала сосны, а также, помимо этого, сокращает среднесуточный покой семян (табл. 2). При этом видно, что наиболее действенными вариантами обработки оказались те, которые не предусматривали внесения пленкообразователя «Гисинар-М», хотя данное вещество и должно дополнительно стимулировать рост растений, однако гуминовые вещества зачастую более эффективны в крайне низких концентрациях [7–8], а пленкообразователи, напротив, способствуют закреплению препаратов на поверхности семян и лучшему их проникновению внутрь. Среди экспериментальных вариантов по замачиванию семян в растворах с отходами от производства Оксигумата наиболее заметное улучшение посевных качеств семян отмечено при внесении в рабочий раствор данных отходов в максимальной использованной дозировке (4 мл/л воды). Статистически значимое относительно контроля повышение всех рассчитанных для семян показателей наблюдается и

при меньшей дозировке, однако несколько уступает аналогичным значениям у эталонного варианта с замачиваем посевного материала в растворе регулятора роста Оксигумат.

Активация ростовых процессов сосны под влиянием испытанных веществ отмечена не только для семян, но и для сеянцев как с закрытой, так и открытой корневой системой (табл. 3). При этом более выраженный положительный эффект наблюдается для сеянцев с открытой корневой системой, в особенности это видно по значительному утолщению корневой шейки во всех экспериментальных вариантах в сравнении с контролем, которая у сеянцев с закрытой корневой системой заметно утолщена только при инкрустации семян баковой смесью пленкообразователя Гисинар-М и отходов от производства регулятора роста Оксигумат. Данную особенность можно объяснить тем, что сеянцы с закрытой корневой системой при проведении опытов выращивались в строго контролируемых лабораторных условиях, а сеянцы с открытой корневой системой - в грунте на территории стационарного питомника под воздействием ряда биотических и абиотических факторов окружающей среды. Как известно, гуминовые вещества хорошо нивелируют влияние негативных факторов на растения, поэтому, судя по всему, в данном случае и наблюдается такое разительное отличие обработанных растений от контрольного варианта опыта. В целом для сеянцев с открытой корневой системой наиболее эффективными оказались двукратные экзогенные обработки вегетирующих растений как регулятором

Таблица 2. Действие препаратов и их остатков на посевные качества и среднесуточный покой семян сосны обыкновенной

Table 2. The effect of treatments on sowing qualities and average daily dormancy of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds

Вариант опыта Experience option	Среднесуточный покой, дней ($M \pm m$) Average daily rest, days ($M \pm m$)	Средняя энергия прорастания, % ($M \pm m$) Average germination energy, % ($M \pm m$)	Средняя техническая всхожесть, % ($M \pm m$) Average technical germination, % ($M \pm m$)
Контроль (вода)	5,22±0,05	82,50±0,96	83,50±1,19
Контроль (сухие семена)	5,37±0,08	73,75±3,47	75,75±3,54
Оксигумат 2 мл/л	5,14±0,02*	90,00±0,71*	91,25±0,25*
Оксигумат 2 мл/л +Гисинар-М 50 мл/л	5,32±0,01	74,00±0,41	75,50±0,50
Оксигумат (остаток) 1 мл/л	5,12±0,03*	82,75±0,75	83,75±0,48
Оксигумат (остаток) 2 мл/л	5,12±0,01*	88,50±0,65*	89,50±0,65*
Оксигумат (остаток) 4 мл/л	5,09±0,02*	91,25±0,25*	92,25±0,48*
Оксигумат (остаток) 1 мл/л +Гисинар-М 50 мл/л	5,35±0,01*	70,25±0,75	73,75±1,03
Оксигумат (остаток) 2 мл/л +Гисинар-М 50 мл/л	5,17±0,03*	69,00±1,08	70,25±1,31*
Оксигумат (остаток) 4 мл/л +Гисинар-М 50 мл/л	5,20±0,03	64,75±1,11*	66,00±1,22*

Примечание: * – достоверность различия с контролем при $P \leq 0,05$

Таблица 3. Действие препаратов и их остатков на морфобиометрические параметры сеянцев сосны обыкновенной 90-дневного возраста**Table 3.** The effect of treatments on the morph biometric parameters of Scots pine seedlings (90-day)

Вариант опыта Experience option	Длина побега, мм Shoot length, mm	Длина корня, мм Root length, mm	Толщина корневой шейки, мм Thickness of the root collar, mm
Сеянцы с закрытой корневой системой			
Контроль (вода)	75,50±1,63	35,90±1,56	0,75±0,02
Оксигумат 2 мл/л	77,30±1,89	40,10±2,41*	0,77±0,02
Оксигумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	80,60±2,15*	43,30±3,43*	0,76±0,02
Оксигумат (жидкий остаток) 4 мл/л	78,00±1,61	40,40±1,85*	0,77±0,02
Оксигумат (жидкий остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	79,40±1,69*	37,00±2,83	0,81±0,03*
Сеянцы с открытой корневой системой			
Контроль (вода)	49,40±2,05	31,40±2,05	0,76±0,02
Оксигумат 30 мл/га (1 раз)	47,30±2,49	36,00±2,08	0,90±0,03*
Оксигумат (остаток) 30 мл/га (1 раз)	49,40±1,92	37,10±1,60*	0,91±0,03*
Оксигумат 30 мл/га (2 раза)	62,20±2,15*	40,40±2,64*	1,11±0,03*
Оксигумат (остаток) 30 мл/га (2 раза)	60,30±2,15*	37,10±2,42*	0,99±0,03*

Примечание: * – достоверность различия с контролем при $P \leq 0,05$

роста Оксигумат, так и отходами от его производства. У сеянцев с закрытой корневой системой не прослеживается явно выраженного преобладающего по морфобиометрическим показателям варианта, однако точно наблюдается значительный прирост как надземной, так и подземной части растений.

Результаты проведенных исследований также показали, что положительный эффект от внесения препаратов и отходов от их производства проявляется не только в видимых признаках, но и носит системный характер, затрагивая первичный метаболизм растений и их болезнестойчивость на физиолого-биохимическом уровне (табл. 4). В экспериментальных вариантах обработки сеянцев в лабораторных и полевых условиях наблюдается существенная активация процессов фотосинтеза, который, наряду с дыханием и синтезом первичных метаболитов, является центральным звеном в функционировании растительного организма. Наиболее показательной характеристикой эффективности этого процесса является концентрация пигментов фотосинтеза – хлорофиллов и каротиноидов в вытяжке из свежего растительного биоматериала.

Для сеянцев сосны с закрытой корневой системой во всех вариантах обработки отмечено повышение концентрации хлорофилла *a* в вытяжке из хвои, при этом максимальные значения получены при обработке семян регулятором роста Оксигумат, в том числе и в сочетании с пленкообразователем Гисинар-М, а также при замачивании посевного материала в водных растворах с внесением отходов от производства гуминового

препарата. Таким образом, подтверждается закономерность, выявленная при исследовании посевных качеств семян, указывающая на то, что чрезмерная аккумуляция использованных отходов, содержащих гуминовые вещества, приводит к менее выраженному ростостимулирующему действию на растительный организм. Данное предположение находит обоснование и в уровне содержания в ацетоновой вытяжке свежей хвои сеянцев хлорофилла *b*, концентрация которого возрастает одновременно с концентрацией хлорофилла *a* только в вариантах без использования пленкообразователя. Интересно и то, что фактически во всех вариантах обработки количество каротиноидов в хвое сеянцев как с открытой, так и с закрытой корневой системой было ниже контрольных значений, что свидетельствует о заметном снижении влияния на растения негативных факторов окружающей среды.

Положительное влияние препаратов и их остатков подтверждается и повышением целостности мембран клеток хвои. Во всех вариантах опыта отмечено статистически значимое снижение относительно контроля интенсивности выхода водорастворимых веществ из тканей сеянцев с открытой и закрытой корневой системой. При этом минимальное значение данного показателя относительно образцов, взятых из контрольной выборки, зафиксировано при выращивании сеянцев в условиях стационарного питомника, что также указывает на способность гуминовых веществ повышать устойчивость растений сосны обыкновенной и в естественной среде произрастания.

Таблица 4. Действие препаратов и их остатков на физиолого-биохимические показатели сеянцев сосны обыкновенной 90-дневного возраста**Table 4.** The effect of treatments on the physiological and biochemical parameters of Scotch pine seedlings (90-day)

Вариант опыта Experience option	Хлорофилл <i>a</i> , % к контролю Chlorophyll <i>a</i> , % to control	Хлорофилл <i>b</i> , % к контролю Chlorophyll <i>b</i> , % to control	Каротиноиды, % к контролю Carotenoids, % to control	Выход водорастворимых веществ, % к контролю Output of water-soluble substances, % to control
Сеянцы с закрытой корневой системой				
Контроль (вода)	100	100	100	100
Оксигумат 2 мл/л	121*	114*	107	78*
Оксигумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	120*	104	107	79*
Оксигумат (жидкий остаток) 4 мл/л	120*	117*	108	81*
Оксигумат (жидкий остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л	114*	108	107	77*
Сеянцы с открытой корневой системой				
Контроль 1 (вода)	100	100	100	100
Оксигумат 30 мл/га (1 раз)	129*	116*	108	31*
Оксигумат (остаток) 30 мл/га (1 раз)	121*	113*	114*	39*
Контроль 2 (вода)	100	100	100	100
Оксигумат 30 мл/га (2 раза)	95	92	99	39*
Оксигумат (остаток) 30 мл/га (2 раза)	85	94	94	28*

Примечание: * – достоверность различия с контролем при $P \leq 0,05$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование влияния отходов от производства гуматсодержащего препарата Оксигумат на качество посевного и посадочного материала сосны обыкновенной в лабораторных и полевых условиях показали, что испытанные варианты внесения препаратов и их остатков позволяют активировать всхожесть семян и ростовые процессы сеянцев, способствуют повышению интенсив-

ности функционирования первичных метаболических путей на физиолого-биохимическом уровне. Выявленные закономерности в действии отходов от производства препарата Оксигумат на растительный организм указывают на то, что испытанные способы внесения отходов при весьма низком расходе действующих веществ являются эффективными и целесообразными.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Б21М-007А от 01.07.2021) в период с 2021 по 2022 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. СБ. Беларусь сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/zelenaya-khimiya22.html>. – Дата доступа: 03.04.2023.
2. Imbufe, A. U. Effects of potassium humate on aggregate stability of two soils from Victoria, Australia / A. U. Imbufe [et al.] // *Geoderma*. – 2005. – Vol. 125. – P. 321–330.
3. Abelman, K. Sorption of HOC in soils with carbonaceous contamination: Influence of organic-matter composition / K. Abelman [et al.] // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* – 2005. – Vol. 168. – P. 293–306.
4. Наумова, Г. В. Перспективы использования твердых отходов гуминового производства для стимулирования развития естественной кормовой базы рыб / Г. В. Наумова [и др.] // *Природопользование*. – Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2020. – № 1. – С. 144–154.
5. Лиштван, И. И. Этапы становления и развития науки о торфе и сапропелях / И. И. Лиштван, Л. С. Лис // *Природопользование*. – Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2018. – № 2. – С. 6–21.
6. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск: Беларуская навука, 2009. – 328 с.

7. Половочкая, Ю. С. Краткий обзор гуминовых препаратов / Ю. С. Половочкая // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 5 (1). – С. 37–47.
8. Наумова, Г. В. Регулятор роста растений Оксигумат и эффективность его применения при выращивании древесных декоративных растений / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование. – Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2017. – № 1 (31). – С. 163–165.
9. Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений / А. П. Вольнец [и др.] – Минск: Беларуская навука, 2016. – 252 с.
10. Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование / А. П. Вольнец [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 233 с.
11. Шуканов, В. П. Применение экологически безопасных препаратов для повышения качества сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / В. П. Шуканов, И. А. Машкин, Л. А. Корытько // Природные ресурсы / Национальная академия наук Беларуси; Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск: Беларуская навука, 2020. – № 1. – С. 99–107.
12. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести: ГОСТ 13056.6-97. – Минск, 1998. – 31 с.
13. Якимов, Н. И. Лесные питомники: методические указания к учебной практике для студентов специальности 1-750101 «Лесное хозяйство» / Н. И. Якимов, В. В. Носников. – Минск: БГТУ, 2011. – 54 с.
14. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев. Биохимические методы в физиологии растений / А. А. Шлык. – М.: Наука, 1971. – 327 с.
15. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: учебное пособие / В. Ф. Гавриленко. – М.: Академия, 2003. – 250 с.
16. Третьяков, Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
17. Титова, М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* / М. С. Титова // Вестник ОГУ. – 2010. – № 12 (118). – С. 9–12.
18. Тужилкина, В. В. Фотосинтетические пигменты хвои ели сибирской в среднетаежных лесах европейского северо-востока России / В. В. Тужилкина // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 1. – С. 65–73.
19. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М.: Академия, 2006. – 448 с.
20. Зайцев, Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев // – М.: Наука, 1990. – 296 с.
21. Фролова, С. В. Сравнение применения методов дисперсионного анализа и Т-критерия Стьюдента для обработки экспериментальных данных стационарного опыта в целом, а также при их частичной утрате / С. В. Фролова, Л. И. Никонорова, Л. В. Бобрович // Нива Поволжья. Агрономия. – 2010. – № 3. – С. 46–49.

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

УДК 581.17:620.3

О. В. МОЛЧАН¹, Т. Н. КУДЕЛИНА¹, Л. Ф. КАБАШНИКОВА², А. Г. СОЛДАТОВ³

МОДИФИКАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ФОТОСИСТЕМЫ II ПРИ ИНФИЛЬТРАЦИИ ЛИСТЬЕВ *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) HEYNH. МНОГОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

¹Институт экспериментальной ботаники Национальной академии наук Беларуси имени В. Ф. Купревича, Минск, Беларусь, e-mail: olga_molchan@mail.ru

²Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
³НППЦ по материаловедению Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В настоящем исследовании оценивали взаимодействие между фотосинтетическим аппаратом и многостенными углеродными нанотрубками (MWCNTs) при инфильтрации листьев *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. путем мониторинга параметров флуоресценции хлорофилла и выделения молекулярного кислорода. Результаты показывают, что MWCNTs могут повышать эффективность первичных процессов фотосинтеза, увеличивая соотношение числа квантов, используемых в фотохимических превращениях, к общему числу поглощенных квантов фотосинтетически активной радиации, т.е. Y(II), эффективный квантовый выход фотохимической реакции в фотосистеме II (ФСII), стимулируя транспорт электронов через ФСII (ETR II), повышая константу фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла qP и стимулируя выделение O₂ ФСII. Полученные результаты свидетельствуют о том, что MWCNTs потенциально могут быть использованы для разработки регуляторных и защитных препаратов для растений, а также создания новых нанобиотехнологических конструкций.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, фотосистема II, флуоресценция хлорофилла, выделение O₂.

O. V. MOLCHAN¹, T. N. KUDELINA¹, L. F. KABASHNIKOVA², A. G. SOLDATOV³

MODIFICATION OF THE PHOTOSYSTEM II FUNCTIONAL ACTIVITY UNDER INFILTRATION OF *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) HEYNH. BY MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: olga_molchan@mail.ru

²Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
³SPC for Materials Science of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Annotation. In the present study, we evaluated the interaction between the photosynthetic apparatus and multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) under leaf infiltration of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. by monitoring the parameters of chlorophyll fluorescence and the release of molecular oxygen. The results show that MWCNTs can increase the efficiency of the primary processes of photosynthesis by increasing the ratio of the number of quanta used in photochemical transformations to the total number of absorbed quanta of photosynthetically active radiation, i.e. Y(II), the effective quantum yield of the photochemical reaction in PSII, stimulating the transport of electrons through PSII (ETR II), increasing the photochemical quenching constant of chlorophyll fluorescence qP and the release O₂ in PSII. The results indicate that MWCNTs can potentially be used to develop regulatory and protective preparations for plants, as well as to create new nanobiotechnological constructs.

Keywords: *Arabidopsis thaliana*, photosystem II, chlorophyll fluorescence, O₂ release.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в различных отраслях промышленности возрастает востребованность наночастиц, особенно углеродных, включая фуллерены, графен и нанотрубки с уникальными физико-химическими свойствами. Углеродные нанотрубки (CNT) принято разделять на две основ-

ные группы: одностенные (SWCNTs) и многостенные (MWCNTs). CNTs характеризуются уникальными параметрами жесткости, прочности и эластичности, тепло- и электропроводности, ферро- и диамагнитными свойствами [1, 2]. Благодаря размерам, физико-химическим свойст-

вам, а также возможностям функционализации CNTs используют для создания конструкционных и композиционных материалов в промышленности, разработки систем контролируемой доставки лекарственных и диагностических средств в медицине, повышения продуктивности, мониторинга физиологических процессов, защиты от стрессоров растений в сельскохозяйственном секторе [1, 3]. При этом наиболее часто используют MWCNTs, производство которых является несложным и недорогим.

Очевидно, что рост направлений и объемов использования наноматериалов неизбежно приводит к их накоплению в окружающей среде и вызывает серьезную озабоченность экологов. С другой стороны, результаты многих исследований свидетельствуют о высокой востребованности углеродных наноматериалов в медицине и сельском хозяйстве [1, 3]. Таким образом, вне зависимости от области применения, очевидна неизбежность их взаимодействия с живыми организмами. Особое внимание следует уделять исследованию механизмов воздействия наночастиц на растения, основной компонент природных и сельскохозяйственных экосистем. Тем не менее, отсутствие однозначных данных о механизмах биологической активности и взаимодействия MWCNTs с живыми организмами, в том числе и растениями, по-прежнему остается серьезной проблемой. Так, в ряде работ показано, что MWCNTs не оказывают влияния на растительный организм [1, 3]. В то же время в результате других исследований установлены положительное воздействие MWCNTs на физиологические и морфометрические параметры различных культур (шпинат, салат, рис, огурец, перец чили, сою, томат и др.) в гидропонной культуре [3, 4]. Некоторые исследования также показали цитотоксическое и ингибирующее ростовые процессы действие MWCNTs – снижение жизнеспособности клеток, задержку цветения, уменьшение длины

корней, увядание и скручивание листьев, снижение урожая [3, 5–8]. Однако следует заметить, что в большинстве работ негативные эффекты были связаны с применением экстремально высоких концентраций MWCNTs (1000–5000 мг/л) и/или с воздействием на растение через корневую систему [1, 3]. Кроме того, механизмы действия нанотрубок могут значительно варьировать в зависимости от их размеров, физико-химических свойств, функционализации, условий окружающей среды и физиологического состояния растения [3, 9]. За относительно короткое время, прошедшее с момента открытия углеродных нанотрубок в 1991 г., исследования их уникальных свойств и возможностей применения привели к развитию многих промышленных производств, в т.ч. и в Беларуси. Недавно сообщалось о синтезе УНТ длиной даже 550 мкм [1–3].

Таким образом, очевидна потребность в более детальных исследованиях условий и механизмов, определяющих биологическое действие MWCNTs с конкретными параметрами и свойствами.

Одним из аналитических инструментов, позволяющих изучать механизмы взаимодействия MWCNTs с растительным организмом является флуоресценция хлорофилла. Однако до настоящего времени сведения о фотофизических реакциях фотосинтетического аппарата растений на углеродные наночастицы, в том числе MWCNTs, весьма малочисленны.

Цель данной работы – на примере модельного растения *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. исследовать влияние промышленных MWCNTs на параметры флуоресценции хлорофилла, определяющие эффективность функционирования фотосистемы II (ФСII) фотосинтетического аппарата листьев для характеристики наиболее ранних процессов, определяющих дальнейшие физиологические реакции растения при взаимодействии с MWCNTs.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. Columbia-0 выращивали в течение 25 сут на торфогрунте при люминесцентном освещении с уровнем ППФ 200 мкмоль·м⁻²·с⁻¹ и 16 ч фотопериодом. В работе использовали розеточные листья с одинаковым содержанием хлорофилла, предварительно определенным с помощью неструктурного оптического сенсора Dualex Scientific (A-Force, Франция).

В работе были использованы промышленные многослойные углеродные нанотрубки (MWCNTs) («Арт-нано ЮНИЭД», Минск, Беларусь). Известно, что диаметр и длина MWCNTs

могут варьировать в достаточно широком диапазоне значений: от 5 до 200 нм и от 3 до 10 мкм, соответственно, в зависимости от условий производства [1–3]. Используемые в данной работе MWCNTs характеризуются 99,9% структурированного углерода, массовой долей аморфного углерода до 0,1 %, диаметром 10–200 нм и длиной 0,01–20 мкм. Суспензии MWCNTs (0,1–100 мг·л⁻¹) в дистиллированной воде диспергировали ультразвуком (35 кГц, Guangzhou Hanker Electronics Technology Co., Ltd, Китай) 30 мин и использовали для вакуум-инфильтрации листьев.

Вакуум-инфильтрацию листьев проводили с использованием шприца для инъекций согласно стратегии, при которой целевые ткани помещаются вместе с инфильтрационной жидкостью в большой шприц. Вытягивание поршня шприца, блокируя его отверстие, создает отрицательное давление в камере шприца и в инфильтрированных тканях. После разблокировки отверстия шприца и отпускания поршня происходит динамическая компенсация давления в тканях за счет втягивания окружающей жидкости внутрь межклеточных пространств [11, 12].

Через 3 ч инкубации листьев в темноте после вакуум-инфильтрации определяли параметры флуоресценции хлорофилла ФСII листьев арабидопсиса с помощью комплекса «DUAL-PAM 100» (Heinz Walz, Германия) [10]. Регистрировали фоновый после темновой адаптации (F_0) и при включении актиничного света (F_0'), а также максимальный (F_m) уровни флуоресценции. Рассчитывали потенциальный (F_v/F_m) и эффективный ($Y(II)$) квантовый выход ФСII, скорость транс-

порта электронов в ФСII (ETR II), константу фотохимического (qP) и нефотохимического (qN) тушения флуоресценции и меру нефотохимического тушения флуоресценции (NPQ) [13–16].

Исследование скорости дыхания и фотосинтеза проводили с помощью системы PlantVital[®]5030 (INNO-Concept GmbH, Германия). По соотношению скоростей чистой продукции O_2 при фотосинтезе и потребления его в процессе темнового дыхания рассчитывали коэффициент фотосинтетической эффективности K_{phA} по формуле:

$$K_{phA} = S/R, \quad (1)$$

где S – скорость фотосинтеза, R – скорость дыхания.

Объем экспериментальной выборки для исследований в каждом варианте составлял 12 растений. Данные представлены как среднее значение и стандартное отклонение. Для расчёта достоверности различий проводили ANOVA-тест. Отличия от контроля считали достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В данной работе было исследовано влияние MWCNTs на активность фотосинтетического аппарата (ФСА) при инфильтрации листьев *A. thaliana*. Инфильтрация листьев достаточно широко используется в исследованиях в области биологии растений, обычно в качестве первичного подхода к получению информации о взаимодействии различных соединений и препаратов, таких как ДНК, красители, поллютанты и наночастицы, и даже микроорганизмов с растением [11, 12]. При исследовании взаимодействия растений и наноструктур инфильтрацию чаще всего используют для контролируемого и равномерного внесения нанопрепаратов в ткани листа [17–19]. Например, инфильтрацию использовали для исследования взаимодействия SWCNTs с листьями шалфея, индукции солеустойчивости арабидопсиса с помощью наночастиц оксида церия [17, 19].

В качестве инструментов для исследования влияния MWCNTs на состояния ФСА в нашей работе применяли амплитудно-импульсную модуляцию (Pulse-amplitude modulation, PAM) флуоресценции хлорофилла и оценку выделения молекулярного кислорода в ФСII в процессе фотосинтеза. Это достаточно эффективные подходы для выявления наиболее ранних изменений физиологического состояния растения, происходящих в результате воздействия внешних факторов, включая взаимодействие с наночастицами [20–22]. Например, переменную флуоресценцию хлорофилла использовали для исследования действия на растения наночастиц золота и гра-

фена [21, 22]. ФСII играет центральную роль в первых трех этапах фотосинтеза: поглощении света пигментами антенных комплексов, преобразовании энергии в реакционных центрах, генерировании и регуляции электронного транспорта и функционировании электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) в хлоропластах. Поэтому показатели, отражающие эффективность работы ФСII являются важным компонентом мониторинга активности фотосинтетического аппарата в целом.

В табл. 1 представлены результаты оценки ключевых показателей переменной флуоресценции хлорофилла в листе, отражающих эффективность работы ФСII в листьях арабидопсиса после инфильтрации водой (контроль) и MWCNTs в концентрации $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$.

В работе были использованы MWCNTs в диапазоне концентраций $0,1\text{--}100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, при этом наиболее значимые эффекты отмечены при $0,5$ и $1 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ наночастиц. Интенсивность флуоресценции хлорофилла в листе зависит от количества способных испускать квант света возбужденных молекул хлорофилла, окислительно-восстановительного состояния пластохинона Q_A , т.е. активности фотохимических реакций в реакционном центре ФСII (фотохимическое тушение), определяемой, в том числе, и эффективностью работы ЭТЦ, и интенсивностью конкурирующих с флуоресценцией и передачей энергии в ЭТЦ процессов рассеивания энергии возбуждения путем внутренней конверсии и колебательной релаксации или тепловой диссипации энергии возбуждения (не-

фотохимическое тушение). Полученные нами результаты показывают отсутствие достоверных изменений параметра F_v/F_m , отражающего потенциальный квантовый выход ФСII, хотя среднее значение этого параметра было повышено после обработки листьев наночастицами (см. табл. 1). Отношение F_v/F_m исторически считалось максимальным квантовым выходом фотосинтеза для адаптированных к темноте листьев. Однако недавние исследования показывают, что это соотношение нельзя строго считать эквивалентным фотохимической эффективности ФСII [23].

Одной из ключевых характеристик комплексов ФСII является параметр $Y(II)$, параметр Genty, характеризующий эффективный квантовый выход фотохимической реакции, т.е. соотношение числа квантов, используемых в разделении зарядов к общему количеству поглощенных квантов в ФСII. В ряде работ обнаружена линейная зависимость между $Y(II)$ и скоростью фиксации CO_2 в процессе фотосинтеза [20]. Увеличение под действием MWCNTs показателя $Y(II)$, таким образом, свидетельствует о повышении эффективности трансформации энергии поглощенных квантов света в фотохимические реакции в ФСА в результате инфильтрации листьев наночастицами (см. табл. 1).

Еще одно существенное различие между контролем и листьями, обработанными MWCNTs, обнаруживается в коэффициенте фотохимического тушения qP , который был повышен в результате действия наночастиц. Этот коэффициент отражает энергию, затраченную на инициацию фотосинтеза и пропорционален доле открытых реакционных центров ФСII в стационарном состоянии. Повышение значения qP указывает на то, что увеличивается доля открытых РЦ ФСII.

Таким образом, повышение фотохимического тушения хлорофилла qP свидетельствует об активации процессов, поддерживающих электронный транспорт, поскольку величина qP зависит как от притока электронов к пластохинону Q_A , так и от их оттока к пулу пластохинонов. При эффективной работе ФСА значительная доля энергии возбуждения передается через реакционные центры фотосистем в ЭТЦ. Таким образом, закономерно было обнаружить также увеличение скорости транспорта электронов через ФСII (ETR II) в результате инфильтрации листьев MWCNTs (см. табл. 1). Как было ранее показано в ряде работ, стрессовые факторы обычно снижают поток электронов через фотосистему. Так, например, скорость электронного транспорта в хлоропластах листьев картофеля в условиях засухи была значительно ниже, чем в контрольной группе [24]. Параметр ETR II уменьшался в растениях ячменя в условиях азотного дефицита и при засолении [25, 26]. В данной работе мы, напротив, наблюдали увеличение параметров $Y(II)$, qP и ETR II по сравнению с контролем при действии MWCNTs в низких (до $100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$) концентрациях.

Нефотохимическое тушение (qN , NPQ) обычно связывают с процессами, ответственными за преобразование в тепло части энергии, поглощенной пигментами антенных комплексов [20]. Полагают, что величина NPQ равна значению константы скорости тепловой диссипации в антенне ФСII и увеличивается в растениях, поврежденных в результате действия стрессовых факторов [20, 25, 26]. В нашей работе инфильтрация листьев MWCNTs не приводила к достоверному изменению параметров qN и NPQ, хотя средние значения снижались относительно контроля (см. табл. 1).

Таблица 1. Влияние MWCNTs на фотосинтетические параметры листьев *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.

Table 1. The affect MWCNTs on the photosynthetic parameters of *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. leaves

Параметры фотосинтеза	Контроль, $0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$	MWCNTs, $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$
Параметры флуоресценции хлорофилла ФСII		
F_v/F_m , отн.ед.	$0,752 \pm 0,037$	$0,788 \pm 0,015$
$Y(II)$, отн.ед.	$0,276 \pm 0,054$	$0,419 \pm 0,032^*$
qP , отн.ед.	$0,422 \pm 0,07$	$0,598 \pm 0,058^*$
ETR II, $\mu\text{mol electrons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$15,191 \pm 3,01$	$23,044 \pm 1,777^*$
qN , отн.ед.	$0,465 \pm 0,04$	$0,436 \pm 0,096$
NPQ, отн.ед.	$0,626 \pm 0,086$	$0,589 \pm 0,102$
Интенсивность фотосинтеза		
I_{ϕ} , $\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	$1,35 \pm 0,33$	$2,55 \pm 0,62^*$
KphA	$3,04 \pm 0,56$	$4,66 \pm 0,59^*$

Примечание:

– в таблице представлены среднее значение и стандартное отклонение показателей;

– * – отличия относительно контроля достоверны при $p < 0,05$.

Таким образом, изменения параметров флуоресценции в результате инфильтрации листьев MWCNTs обусловлены не только процессами, происходящими в пуле пигментов, локализованных в антенных комплексах и реакционном центре ФСII, но и окислительно-восстановительными реакциями на донорной и акцепторной сторонах фотосистем, а также во всей цепи переноса электронов. Таким образом, можно было предположить, что инфильтрация листьев MWCNTs повлияет на все ключевые процессы первых трех этапов фотосинтеза, включая фотолиз воды и выделение молекулярного кислорода. И в данной работе мы также обнаружили взаимосвязь между инфильтрацией листьев MWCNTs и интенсивностью фотосинтеза, определяемой по выделению O_2 . Было установлено, что обработка MWCNTs может приводить к изменению интенсивности фотосинтеза и дыхания растений (см. табл. 1). Показано также достоверное увеличение в результате инфильтрации наночастицами коэффициента фотосинтетической эффективности K_{phA} , рассчитываемого по соотношению скоростей чистой продукции O_2 при фотосинтезе и потребления его в процессе темного дыхания.

При обсуждении эффектов действия наночастиц на растительный организм всегда возникает вопрос о возможностях и механизмах их транспорта через клеточную стенку и мембраны клеток и органелл, которые все еще остаются невыясненными. Несмотря на то, что диаметр и длина MWCNTs обычно больше, чем у SWCNTs и фуллеренов, в ряде работ ранее была продемонстрирована их способность проникать через клеточные стенки и клеточные мембраны многих видов растений [3]. При этом, как уже упоминалось, исследования реакции растений на воздействие MWCNTs часто дают на первый взгляд противоречивые результаты. Например, в работе [27] изучали влияние промышленных MWCNTs (ООО «НаноТехЦентр», Тамбов, Россия) диаметром 20–70 нм, и длиной > 2 мкм и концентрацией $1000 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ на проростки сои и показали их фитотоксичность, связанную с нарушениями гомеостаза микроэлементов (Zn, Cu, Mn) и окислительным стрессом. При использовании для обработки растений таких экстремально высоких концентраций ($1000 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ и более) MWCNTs основной причиной ингибирующего действия на рост растений часто считают окислительный

стресс в результате образования активных форм кислорода [28, 29]. Стимулирующие эффекты на прорастание семян и развитие растений в основном наблюдают при более низких дозах MWCNTs [30, 31]. Например, транслокация MWCNTs (менее 0,005%) из корня в побег и их накопление в растительных клетках не вызвали каких-либо неблагоприятных эффектов [32]. Также было показано, что MWCNTs улучшали всхожесть семян и рост растений горчицы и были более эффективны при низких концентрациях ($2,3 \times 10^{-3} \text{ мг} \cdot \text{мл}^{-1}$) [33]. Присутствие MWCNTs в концентрации 50–200 $\text{мкг} \cdot \text{мл}^{-1}$ в агаризованных средах стимулировали примерно на 50 и 90 % прорастание семян и на 40% и 26% рост побегов сои и кукурузы, соответственно [34].

В ряде работ также было показано, что углеродные нанотрубки обладают потенциалом для улучшения фотосинтетической активности. Так, было обнаружено, что MWCNTs (50 мг/л) значительно стимулировали накопление фотосинтетических пигментов и активность ряда ферментов у *Salvia verticillata* [35]. Giraldo с соавт. показали, что нанотрубки могут пассивно транспортироваться и необратимо локализоваться в липидной оболочке извлеченных хлоропластов растений и значительно повышать фотосинтетическую активность [17]. Углеродные нанотрубки способны поглощать свет в широком диапазоне длин волн от УФ до ближнего ИК, которые не улавливаются пигментами ФСА. Специфические свойства нанотрубок также позволяют им преобразовывать поглощенную энергию света и передавать ее компонентам электрон-транспортной цепи хлоропластов. Предполагается, что MWCNTs могут способствовать захвату фотонов, фотосинтетическому транспорту электронов и повышению эффективности фотосинтеза [17, 35, 36]. Учитывая потенциал связывания MWCNTs с различными металлами, которые часто действуют как активные центры в процессах переноса электронов, можно предположить, что именно это позволяет наночастицам регулировать фотосинтетические процессы в хлоропластах [17, 37]. Однако механизм, приводящий к повышению фотосинтетической активности, остается неизвестным и его еще предстоит выяснить. Тем не менее очевидно, что MWCNT могут быть использованы в качестве инструмента для управления фотосинтетической активностью и продуктивностью растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования и анализа показателей, отражающих эффективность работы ФСII и фотосинтетического аппарата в целом, были выявлены особенности влияния промышленных

многослойных углеродных нанотрубок (MWCNTs) при инфильтрации листьев *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Установлено, что MWCNTs в концентрации $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ могут повы-

шать эффективный квантовый выход ФСII Y(II), скорость транспорта электронов через ФСII ETR II, увеличивать константу фотохимического тушения флуоресценции хлорофилла qP и не влияют на параметры нефотохимического тушения qN и NPQ. Также установлены концентрации MWCNTs, стимулирующие выделение O₂ ФСII. Выявление механизмов модификации углеродными наночастицами процессов фотосинтеза важно для разработки регуляторных и защитных

препаратов на их основе, а также создания новых нанобиотехнологических конструкций. Такие разработки могут помочь в решении многих актуальных задач, связанных с производством продукции растениеводства. В их числе: повышение урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур к неблагоприятным условиям окружающей среды, а также использование растительных объектов в качестве тест-систем, датчиков и сорбентов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны сотруднику Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси Т.Г. Курьяничку за помощь в работе с комплексом «DUAL-PAM 100».

ЛИТЕРАТУРА

1. Zaytseva, O. Carbon nanomaterials: production, impact on plant development, agricultural and environmental applications / O. Zaytseva, G. Neumann // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2016. – V. 3. – № 17. – P. 1–26. DOI: 10.1186/s40538-016-0070-8.
2. Томишко, М. М. Многослойные углеродные нанотрубки и их применение // М. М. Томишко [и др.] // *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. – 2008. – Т. II. – № 5. – С. 39–43.
3. Safdar, M. Engineering plants with carbon nanotubes: a sustainable agriculture approach / M. Safdar [et al.] // *J. Nanobiotechnol.* – 2022. – V. 20. – № 275. – P. 1–30. doi.org/10.1186/s12951-022-01483-w
4. Tiwari, D. Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture / D. Tiwari [et al.] // *Appl Nanosci.* – 2014. – V.4. – P. 577–591.
5. Khodakovskaya, M. V. Complex genetic, photothermal, and photoacoustic analysis of nanoparticle-plant interactions / M. V. Khodakovskaya [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci.* – 2011. – V.108. – P. 1028–1033.
6. Begum, P. Phytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes on red spinach (*Amaranthus tricolor* L.) and the role of ascorbic acid as an antioxidant / P. Begum, B. Fugetsu J. Hazard // *Mater.* – 2012. – V. 243. P. – 212–222.
7. Stampoulis, D. Assay-dependent phytotoxicity of nanoparticles to plants / D. Stampoulis, S. K. Sinha, J. C. White // *Environ. Sci. Technol.* – 2009. – V. 43. – P. 9473–9479.
8. Lin, C. Studies on toxicity of multi-walled carbon nanotubes on *Arabidopsis* T87 suspension cells / C. Lin [et al.] // *Mater.* – 2009. – V. 170. P. 578–583.
9. Jackson, P. Bioaccumulation and ecotoxicity of carbon nanotubes / P. Jackson [et al.] // *Chem Cent J.* – 2013. – V. 7. – P. 1–21.
10. Dual-PAM-100 Measuring System for Simultaneous Assessment of P700 and Chlorophyll Fluorescence. Instrument Description and Instructions for Users. – Germany: Heinz Walz GmbH. – 2009. – P. 3–26.
11. Chincinska, I. A. Leaf infiltration in plant science: old method, new possibilities / I. A. Chincinska // *Plant Methods*. – 2021. – V. 17. – P. 83.
12. Simmons, C. W. Rapid, in situ detection of *Agrobacterium tumefaciens* attachment to leaf tissue / C. W. Simmons, N. Nitin, J. S. Vanderghenst // *Biotechnol. Prog.* – 2012. – V. 28. – P. 1321–1328.
13. Kramer, D. M. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes / D. M. Kramer [et al.] // *Photosynthesis Res.* – V. 79. – 2004. – P. 209–218. – <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d>
14. Klughammer, C. An improved method, using saturating light pulses, for the determination of photosystem I quantum yield via P700-absorbance changes at 830 nm / C. Klughammer, U. Schreiber // *Planta*. – 1994. – V. 192. – P. 261–268. – <https://doi.org/10.1007/BF01089043>
15. Makarenko, M. S. The state of PSI and PSII photochemistry of sunflower yellow-green plastome mutant / M. S. Makarenko [et al.] // *OnLine Journal of Biological Sciences*. – 2016. – V. 16. – № 4. – P. 193–196.
16. Busch, F. Biochemical constrains limit the potential of the photochemical reflectance index as a predictor of effective quantum efficiency of photosynthesis during the winter spring / F. Busch, N. Hüner, I. Ensminger // *Functional Plant Biology*. – V. 36 (11). – P. 1016–1026.
17. Giraldo, J. P. Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing / J. P. Giraldo [et al.] // *Nature materials*. – 2014. – V. 13. – P. 400–408.
18. Wu, H. *In vivo* delivery of nanoparticles into plant leaves / H. Wu [et al.] // *Curr. Protoc. Chem. Biol.* – 2017. – V. 9. – P. 269–284.
19. Wu, H. Hydroxyl radical scavenging by cerium oxide nanoparticles improves *Arabidopsis* salinity tolerance by enhancing leaf mesophyll potassium retention / H. Wu [et al.] // *Environ. Sci. Nano*. – 2018. – V. 5. – P. 1567–1583.

20. Baker, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo* / N. R. Baker // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2008. – V. 59. – P. 89–113.
21. Falco, W. F. *In vivo* observation of chlorophyll fluorescence quenching induced by gold nanoparticles / W. F. Falco // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry.* – 2011. – V. 225. – Issue 1. – P. 65–71.
22. Torres, R. Nanobiophotonics. Effect of carbon nanoparticles on the optical and spectroscopic properties of *Cichorium intybus* leaves / R. Torres, V. E. Diz, M. G. Lagorio // *Journal of Photochemistry and Photobiology.* – 2022. – V. 10. – P. 100–121.
23. Sipka, G. Light-adapted charge-separated state of photosystem II: Structural and functional dynamics of the closed reaction center / G. Sipka [et al.] // *Plant Cell.* – 2021. – V. 33. – P. 1286–1302. – <https://doi.org/10.1093/plcell/koab008>.
24. Gervais, T. Potato Response to Drought Stress: Physiological and Growth Basis / T. Gervais [et al.] // *Front. Plant Sci.* – 2021. – V. 12. – P. 698060. – doi: 10.3389/fpls.2021.698060
25. Comadira, G. Nitrogen deficiency in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings induces molecular and metabolic adjustments that trigger aphid resistance / G. Comadira [et al.] // *J. Exp. Bot.* – 2015. – V. 66(12). – P. 3639–55. – doi: 10.1093/jxb/erv276.
26. Akhter, M. S. Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence / M. S. Akhter [et al.] // *Journal of King Saud. University - Science.* – 2021. – V. 33. – Issue 1. – P. 101239.
27. Zaytseva, O. Phytotoxicity of carbon nanotubes in soybean as determined by interactions with micronutrients / O. Zaytseva, Z. Wang, G. Neumann // *Journal of Nanoparticles Research.* – 2017. – V. 19(2) – P. 1–29.
28. Tan, X. Studies on toxicity of multi-walled carbon nanotubes on suspension rice cells / X. Tan, C. Lin, B. Fugetsu // *Carbon.* – 2009. – V. 47. – P. 3479–3487.
29. Begum, P. Phytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes on red spinach (*Amaranthus tricolor* L.) and the role of ascorbic acid as an antioxidant / P. Begum, B. Fugetsu // *Journal of Hazardous Materials.* – 2012. – V. 243. – P. 212–222.
30. Ghodake, G. Phytotoxicity of Carbon Nanotubes Assessed by Brassica Juncea and Phaseolus Mungo / G. Ghodake [et al.] // *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics.* – 2010. – V. 5. – P. 157–160.
31. Tiwari, D. K. Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture / D. K. Tiwari [et al.] // *Applied Nanoscience.* – 2014. – V. 4. – P. 577–591.
32. Larue, C. Quantitative evaluation of multi-walled carbon nanotube uptake in wheat and rapeseed / C. Larue [et al.] // *J. Hazard Mater.* – 2012. – V. 227. – P. 155–63.
33. Mondal, A. Beneficial role of carbon nanotubes on mustard plant growth: an agricultural prospect / A. Mondal [et al.] // *J. Nanoparticle Res.* – 2011. – V. 13. – P. 4519–4528.
34. Lahiani, M. H. Interaction of carbon nanohorns with plants: uptake and biological effects / M. H. Lahiani [et al.] // *Carbon.* – 2015. – V. 81. – P. 607–619.
35. Rahmani, N. Impacts of foliar exposure to multi-walled carbon nanotubes on physiological and molecular traits / N. Rahmani, T. Radjabian, B. M. Soltani // *Plant Physiology and Biochemistry.* – 2020. – V. 150. – P. 27–38.
36. Hsieh, H. Light-independent reactive oxygen species (ROS) formation through electron transfer from carboxylated single-walled carbon nanotubes in water / H. Hsieh, R. Wu, C. T. Jafvert // *Environmental science & technology.* – 2014. – V. 48. – P. 11330–11336.
37. Miralles, P. Multiwalled carbon nanotubes in alfalfa and wheat: toxicology and uptake / P. Miralles [et al.] // *Journal of the Royal Society Interface.* – 2012. – V. 9. – P. 3514–3527.

Поступила в редакцию 19.05.2023 г.

УДК 634.739.3:736(476)

Ж. А. РУПАСОВА¹, К. А. ДОБРЯНСКАЯ¹, Н. Б. ПАВЛОВСКИЙ¹,
 О. В. ДРОЗД¹, В. С. ЗАДАЛЯ¹, П. Н. БЕЛЫЙ¹, Э. И. КОЛОМИЕЦ²,
 З. М. АЛЕЩЕНКОВА², М. Н. МАНДРИК-ЛИТВИНКОВИЧ²

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТОВ С ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТЬЮ НА БИОФЛАВОНОИДНЫЙ КОМПЛЕКС ПЛОДОВ *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

¹Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
 e-mail: rupasova@basnet.by

²Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
 e-mail: microbio@mbio-bas-net.by

Аннотация. В статье приведены результаты сравнительного исследования влияния фунгицидных препаратов – химического *Беллис* и бактериальных *ХелсБеррина* и *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия* при дву- и четырехкратных обработках растений голубики высокорослой на содержание в плодах основных компонентов биофлавоноидного комплекса (антоциановых пигментов, флавонолов и катехинов) в рамках двух полевых экспериментов с идентичной 6-вариантной схемой, но при разном уровне плодородия почвы – менее высоком на экспериментальной базе ЦБС НАН Беларуси (ЭБ) и более высоком в расположенном на 10 км севернее крестьянско-фермерском хозяйстве «Ягодное лукошко». Установлено, что в обоих экспериментах применение фунгицидных препаратов в большинстве случаев способствовало снижению общего количества биофлавоноидов в плодах голубики на 6–78% относительно контроля, и лишь на фоне двукратной обработки растений *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия* наблюдалось увеличение их содержания на 10% и 189%, наиболее значительное при более высоком уровне агрохимического обеспечения, обусловившем также аналогичный, но выраженный в 1,5 раза слабее эффект от четырехкратной обработки *ХелсБеррином*.

Ключевые слова: голубика высокорослая, фунгицидные препараты, катехины, флавонолы, органическое земледелие.

Ж. А. RUPASOVA¹, К. А. DOBRYANSKAYA¹, N. B. PAVLOVSKY¹,
 O. V. DROZD¹, V. S. ZADALIA¹, P. N. BELY¹, E. I. KOLOMIETS²,
 Z. M. ALESHCHENKOVA², M. N. MANDRIK-LITVINKOVICH²

INFLUENCE OF FUNGICIDAL ACTIVE PRODUCTS ON THE FRUIT *VACCINIUM CORYMBOSUM* L. BIOFLAVONOID COMPLEX WITHIN THE BELARUS SETTINGS

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
 e-mail: rupasova@basnet.by

²Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
 e-mail: microbio@mbiobas-net.by

Annotation. The article presents the results of a comparative study of the effect of fungicidal preparations - chemical *Bellis* and bacterial *HealthBerrin* and *HealthBerrin* in combination with *Potassium Humate* during two- and four-fold treatments of tall blueberry plants on the content of the main components of the bioflavonoid complex (anthocyanin pigments, flavonols and catechins) in fruits within two field experiments with an identical 6-variant scheme, but with different levels of soil fertility - less high at the experimental base of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (EB) and higher at the Berry Basket (KFK) peasant farm located 10 km to the north. It was found that in both experiments, the use of fungicidal preparations in most cases contributed to a decrease in the total amount of bioflavonoids in blueberry fruits by 6–78% relative to the control, and only against the background of double treatment of plants with *HealthBerrin* in combination with *Potassium Humate*, an increase in their content by 10% and 189%, the most significant at a higher level of agrochemical provision, which also caused a similar, but expressed 1.5 times weaker effect from the fourfold treatment with *HealthBerrin*.

Keywords: blueberry, fungicides, catechins, flavonols, organic farming.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с совершенствованием биологических систем защиты посадок голубики высокорослой от фитопатогенов в условиях Беларуси, представляется весьма актуальным и целесообразным использование в этих целях микробных препаратов, обеспечивающее получение высококачественной экологически чистой ягодной продукции, что согласуется с принятым в Республике Беларусь в ноябре 2018 г. Законом «О производстве и обращении органической продукции», запрещающим использование в растениеводческих технологиях любых химических средств, в том числе фунгицидного действия. Для реализации этой цели в 2021–2022 гг. в Ганцевичском районе Брестской области впервые были проведены испытания нового жидкого бактериального препарата *ХелсБеррин*, разработанного в Институте микробиологии НАН Беларуси для защиты от болезней плодовых культур на основе клеток, спор и продуктов метаболизма бактерий *Bacillus*

amyloliquefaciens Б.16, *Bacillus amyloliquefaciens* 3.9. Наряду с этим было проведено испытание еще одной формы данного препарата в сочетании с 2%-ным раствором *Гумата калия*.

Оценку эффективности обозначенных фунгицидов проводили на основе сравнительного исследования в опытной культуре степени воздействия их разных доз и кратности обработок растений на основные параметры развития и биохимический состав плодов в сравнении с химическим фунгицидом *Беллис*, разрешенным для использования на территории республики на посадках голубики высокорослой. Особый интерес при этом представляло исследование степени трансформации биофлавоноидного комплекса ягодной продукции опытных растений под действием обозначенных выше препаратов, как оказывающего значительное физиологическое действие на организм человека [1], что и определило цель данной работы.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на примере сорта *Bluecrop* голубики высокорослой в рамках двух полевых экспериментов с идентичной 6-вариантной схемой обработок растений в период созревания плодов, но в разных почвенных условиях – на экспериментальном участке отраслевой лаборатории интродукции и технологии ягодных растений ЦБС НАН Беларуси (ЭБ) и на территории расположенного на 10 км севернее крестьянско-фермерского хозяйства «Ягодное лукошко» (КФХ):

1 – контроль (обработка водой);

2 – обработка растений водно-диспергируемыми гранулами химического фунгицида *Беллис* из расчета 0,8 кг/га при норме расхода 2 г/л;

3, 4 – дву- и четырехкратная обработка жидким микробным препаратом *ХелсБеррин* из расчета 20 л/га при норме расхода 50 мл/л;

5, 6 – дву- и четырехкратная обработка жидким биологическим препаратом *ХелсБеррин* в сочетании с 2%-ным *Гуматом калия* из расчета 20 л/га при норме расхода 50 мл/л;

В варианте опыта с двукратной обработкой растений первая по времени совпадала со второй обработкой в варианте с четырехкратной обработкой, тогда как вторая обработка проводилась за 3–5 дней до сбора плодов. В варианте с четырехкратной обработкой первую проводили по завершении цветения растений, две последующие – через каждые 10 дней, а последнюю – за 3–5 дней до сбора плодов. Норма расхода рабочей жидкости на одну обработку со-

ставляла 2 л на каждый вариант опыта в двукратной повторности.

Почва на экспериментальном участке отраслевой лаборатории ЦБС НАН Беларуси – торфяно-глебовая, мелиорированная, развитая на слое пушицево-сфагнового верхового торфа, подстилаемом с глубины 50 см рыхлым, разнозернистым песком. Торф среднеразложившийся, с зольностью 15% и содержанием P_2O_5 – 131, K_2O – 180, Ca – 246, Mg – 32 мг/кг. Реакция почвенного раствора (pH_{H_2O}) в пристволевой зоне посадок голубики варьировалась в диапазоне 4,9–6,2, тогда как у мульчирующего слоя (древесные опилки) она составляла 4,9–5,3, а в междурядьях – 4,7–5,1.

Почва на участке КФХ «Ягодное лукошко» – дерново-подзолистая, супесчаная, с содержанием гумуса 3,5%, P_2O_5 – 285, K_2O – 74, Ca – 982, Mg – 124 мг/кг. Реакция почвенного раствора (pH_{H_2O}) в пристволевой зоне посадок голубики соответствовала области более низких, чем на предыдущем участке, значений – от 3,8 до 4,9 при pH мульчирующего слоя (древесные опилки) в пределах от 4,7 до 4,8, а в междурядьях – 5,0–5,7.

При выполнении аналитических работ в высушенных при температуре 60°C пробах растительного материала определяли суммарное содержание антоциановых пигментов по методу T. Swain, W. E. Hillis [2], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Ско-

риковой и Э. А. Шафтан [3]; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [4, 5]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометриче-

ским методом [5]. Все аналитические определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как было показано ранее, почва в эксперименте на КФХ отличалась более высоким уровнем плодородия, нежели в эксперименте на ЭБ, что в определенной мере могло отразиться на восприимчивости опытных растений к воздействию испытываемых фунгицидных препаратов, что и нашло подтверждение в наших исследованиях. Так, суммарное содержание биофлавоноидов в плодах голубики в эксперименте на ЭБ в большинстве вариантов уступало таковому в КФХ при варьировании данного показателя в диапазонах 7872–9237 мг/100 г и 8720–12547 мг/100 г соответственно, что свидетельствовало о более благоприятных во втором случае условиях для синтеза этих соединений. При этом расхождения крайних позиций в данных диапазонах составляли 1,2 и 1,4, что указывало на более выраженную зависимость их накопления от испытываемых агроприемов в опыте на территории КФХ, нежели на ЭБ (табл. 1).

Как и следовало ожидать, доминирующее положение в составе биофлавоноидного комплекса плодов опытных растений принадлежало антоциановым пигментам, общая доля которых в нем при содержании в условиях ЭБ и КФХ 5554–6942 мг/100 г и 6084–8996 мг/100 г достигала 71–77% и 66–72% соответственно (табл. 2). Превалирующей фракцией данных соединений являлись собственно антоцианы, количество которых, составлявшее соответственно 3640–4384 мг/100 г и 4320–6840 мг/100 г, превосходило таковое лейкоантоцианов в 1,4–2,6 и 2,2–3,4 раза при содержании последних 1542–2558 мг/100 г и 1396–2328 мг/100 г. При этом долевое участие флавонолов в Р-витаминном комплексе плодов голубики в экспериментах на территории ЭБ и КФХ изменялось по вариантам опыта в соответствующих диапазонах 16–22% и 23–28% при содержании 1431–1788 мг/100 г и 2095–2963 мг/100 г, тогда как катехинов – в диапазонах 6–8% и 5–7% при содержании 564–632 мг/100 г и 447–684 мг/100 г.

Нетрудно убедиться, что показанные выше различия экспериментальных участков по показателю кислотности и уровню агрохимического обеспечения заметно отразились на количественных характеристиках Р-витаминного комплекса плодов голубики. Так, более высокое общее содержание биофлавоноидов в опыте на тер-

ритории КФХ было обусловлено, главным образом, более активным, чем на ЭБ, обогащением плодов их доминирующими компонентами – собственно антоцианами и флавонолами на фоне преимущественного обеднения лейкоантоцианами и катехинами.

Вместе с тем на фоне испытываемых агроприемов с использованием *ХелсБеррина* обнаружены заметные сдвиги в соотношении основных групп биофлавоноидов в плодах опытных растений по сравнению с контролем, наиболее выразительные в КФХ, тогда как применение препарата *Беллис* в эксперименте на ЭБ практически не повлияло на соотношение в них основных компонентов Р-витаминного комплекса (см. табл. 2). Обработки растений *ХелсБеррином*, особенно двукратные, способствовали снижению в последнем долевого участия антоциановых пигментов исключительно за счет ослабления позиций собственно антоцианов, но приводили к усилению роли флавонолов

Заметим, что направленность сдвигов в биофлавоноидном комплексе плодов при использовании *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия* была аналогичной установленной при дифференцированном применении данного препарата, причем наиболее выразительно данные сдвиги проявились на фоне четырехкратных обработок растений. При этом снижение долевого участия антоциановых пигментов в составе Р-витаминного комплекса при обработках *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия* было обусловлено не ослаблением роли собственно антоцианов, как в остальных вариантах опыта с применением данного препарата, а со значительным ослаблением позиций лейкоантоцианов, что косвенно свидетельствовало о более активном в этом случае окрашивании плодов в процессе их созревания.

При испытании фунгицидных препаратов в опыте на территории КФХ в большинстве вариантов выявлена противоположная установленной в эксперименте на ЭБ направленность сдвигов в соотношении основных групп биофлавоноидов относительно контроля, что нашло подтверждение в значительном усилении роли антоциановых пигментов исключительно за счет активизации биосинтеза лейкоантоцианов, наиболее значительной при использовании химического препарата *Беллис* и при четырехкратной обработке

растений *ХелсБеррином* (см. табл. 2). Лишь в единичном случае – при двукратном применении *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия* увеличение общей доли антоциановых пигментов в биофлавоноидном комплексе плодов было связано с одновременным усилением позиций и собственно антоцианов, и лейкоантоцианов. При этом практически во всех вариантах опыта в составе Р-витаминного комплекса наблюдалось снижение долевого участия катехинов и флавонолов.

Таким образом, направленность и величина сдвигов в составе биофлавоноидного комплекса плодов голубики на фоне применения испытываемого бактериального фунгицида *ХелсБеррина*

(дифференцированного и в сочетании с *Гуматом калия*) в большей степени определялась уровнем кислотности и плодородия почвы, нежели дозой и кратностью обработок растений данным препаратом. Показано, что улучшение условий минерального питания растений способствовало усилению в данном комплексе позиций антоциановых пигментов по сравнению с контролем преимущественно за счет активизации биосинтеза лейкоантоцианов, а при двукратном применении *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия* биосинтез также собственно антоцианов, сопровождавшейся снижением долевого участия в нем катехинов и флавонолов.

Таблица 1. Содержание фенольных соединений в сухой массе плодов *Vaccinium corymbosum* в вариантах полевых опытов

Table 1. The content of phenolic compounds in the dry weight of *Vaccinium corymbosum* fruits in field trials

<i>Отраслевая лаборатория интродукции и технологии ягодных растений</i>								
Вариант опыта	Биофлавоноиды, мг%							
	собственно антоцианы		лейкоантоцианы		сумма антоциановых пигментов		катехины	
	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}
1. Контроль	4384,0±34,9		2558,0±11,1		6942,0±45,0		605,8±2,9	
2. Беллис	4300,0±52,9	-1,3	2408,0±79,9	-2,8*	6708,0±45,0	-3,7*	598,0±11,3	-0,7
3. ХелсБеррин 2 обр.	3640,0±52,9	-11,7*	2532,7±93,4	-0,3	6172,7±99,5	-7,0*	631,8±1,0	8,4*
4. ХелсБеррин 4 обр.	3972,0±20,8	-10,1*	2392,8±15,8	-8,5*	6364,8±23,8	-11,3*	585,0±4,5	-3,9*
5. Х/Б + Гумат К 2 обр.	4353,3±52,1	-0,5	2510,7±163,7	-0,3	6864,0±119,1	-0,6	585,0±4,5	-3,9*
6. Х/Б+ Гумат К 4 обр.	4012,0±28,0	-8,3*	1541,6±69,3	-14,5*	5553,6±47,7	-21,2*	564,2±6,9	-5,6*
Вариант опыта	Биофлавоноиды, мг%							
	флавонолы		флавонолы / катехины		сумма			
	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}		
1. Контроль	1583,8±29,5		2,6±0,1		9131,6±66,9			
2. Беллис	1430,5±29,5	-3,7*	2,4±0,1	-3,1*	8736,5±15,2			-5,8*
3. ХелсБеррин 2 обр.	1583,8±29,5	0	2,5±0,1	-1,7	8388,3±89,9			-6,6*
4. ХелсБеррин 4 обр.	1703,0±17,1	3,5*	2,9±0,1	5,8*	8652,8±35,2			-6,3*
5. Х/Б+ Гумат К 2 обр.	1788,2±29,5	4,9*	3,1±0,1	6,7*	9237,2±148,5			0,6
6. Х/Б+ Гумат К 4 обр.	1754,1±17,0	5,0*	3,1±0,1	6,9*	7871,9±63,5			-13,7*
<i>Крестьянско-фермерское хозяйство «Ягодное лукошко»</i>								
Вариант опыта	Биофлавоноиды, мг%							
	собственно антоцианы		лейкоантоцианы		сумма антоциановых пигментов		катехины	
	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}
1. Контроль	4740,0±11,5		1396,0±9,2		6136,0±13,3		683,8±11,3	
2. Беллис	4320,0±69,3	-6,0*	1816,0±137,4	3,0*	6136,0±68,8	0	488,8±11,3	-12,2*
3. ХелсБеррин 2 обр.	4500,0±34,6	-6,6*	1636,0±79,0	3,0*	6136,0±113,3	0	447,2±13,8	-13,3*
4. ХелсБеррин 4 обр.	5160,0±34,6	11,5*	2328,0±10,4	67,3*	7488,0±45,0	28,8*	670,8±4,5	-1,1
5. Х/Б+ Гумат К 2 обр.	6840,0±69,3	29,9*	2156,0±254,8	3,0*	8996,0±187,5	15,2*	587,6±11,3	-6,0*
6. Х/Б + Гумат К 4 обр.	4380,0±34,6	-9,9*	1704,0±40,8	7,4*	6084,0±45,0	-1,1	488,8±13,8	-10,9*
Вариант опыта	Биофлавоноиды, мг%							
	флавонолы		флавонолы / катехины		сумма			
	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}	X ± st	t _{Cr}		
1. Контроль	2435,3±45,1		3,6±0,1		9255,1±40,7			
2. Беллис	2094,7±29,5	-6,3*	4,3±0,1	11,9*	8719,5±53,5			-8,0*
3. ХелсБеррин 2 обр.	2248,0±29,5	-3,5*	5,0±0,1	11,4*	8831,2±146,7			-2,8*
4. ХелсБеррин 4 обр.	2656,7±29,5	4,1*	4,0±0,1	6,7*	10815,5±69,2			19,4*
5. Х/Б + Гумат К 2 обр.	2963,2±29,5	9,8*	5,0±0,1	16,2*	12546,8±170,6			18,8*
6. Х/Б + Гумат К 4 обр.	2623,0±45,4	2,9*	5,4±0,1	16,7*	9195,8±95,7			-0,6

Примечание. * – статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при P<0,05

Таблица 2. Долевое участие основных групп биофлавоноидов в составе Р-витаминного комплекса плодов *Vaccinium corymbosum* в вариантах полевых опытов, %

Table 2. The share of the main groups of bioflavonoids in the P-vitamin complex of *Vaccinium corymbosum* fruits in field trials, %

Вариант опыта	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма антоциановых пигментов	Катехины	Флавонолы
Отраслевая лаборатория интродукции и технологии ягодных растений					
1. Контроль	48	28	76	7	17
2. Беллис	49	28	77	7	16
3. ХелсБеррин 2 обр.	43	30	73	8	19
4. ХелсБеррин 4 обр.	46	28	74	7	19
5. Х/Б + Гумат К 2 обр.	47	27	74	6	20
6. Х/Б + Гумат К 4 обр.	51	20	71	7	22
Крестьянско-фермерское хозяйство «Ягодное лукошко»					
1. Контроль	51	15	66	7	27
2. Беллис	50	21	71	6	23
3. ХелсБеррин 2 обр.	51	19	70	5	25
4. ХелсБеррин 4 обр.	48	22	70	6	24
5. Х/Б + Гумат К 2 обр.	55	17	72	5	23
6. Х/Б + Гумат К 4 обр.	48	19	67	5	28

Нетрудно убедиться, что показанные выше различия экспериментальных участков по показателю кислотности и уровню агрохимического обеспечения субстратной основы заметно отразились на количественных характеристиках Р-витаминного комплекса плодов голубики. Так, более высокое общее содержание биофлавоноидов в опыте на территории КФХ было обусловлено, главным образом, более активным, чем на ЭБ, обогащением плодов их доминирующими компонентами - собственно антоцианами и флавонолами на фоне преимущественного обеднения лейкоантоцианами и катехинами.

Вместе с тем ширина приведенных выше диапазонов варьирования исследуемых характеристик биофлавоноидного комплекса плодов в рамках обоих полевых экспериментов свидетельствовала об определенном влиянии на них испытываемых фунгицидных препаратов. Для количественной оценки данного влияния были определены относительные различия данных показателей с контролем в вариантах опытов с применением последних, приведенные в табл. 3. При этом в эксперименте на ЭБ использование всех видов фунгицидов способствовало преимущественному обеднению плодов голубики биофлавоноидами на 4–14% по сравнению с контролем, наименьшему при использовании химического препарата *Беллис* и наибольшему при четырехкратной обработке растений *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия*, что косвенно указывало на соответствующее снижение их Р-витаминной ценности. Лишь в единичном случае – при двукратном применении вышеуказанной смеси препаратов общий выход

полифенолов не уступал таковому в контроле. При этом обработки микробными фунгицидами оказали наиболее выраженное негативное влияние на биосинтез в плодах антоциановых пигментов, что привело к снижению их общего количества на 8–20% относительно контроля, тогда как для катехинов было показано наименьшее в рамках эксперимента снижение содержания (в пределах 3–7%), причем двукратное использование *ХелсБеррина* способствовало даже незначительному их накоплению в плодах опытных растений. В отличие от антоциановых пигментов и катехинов, для флавонолов было показано весьма заметное стимулирующее влияние микробных препаратов на их биосинтез, что подтверждалось увеличением содержания данных соединений на 8–13% по сравнению с контролем, особенно на фоне применения *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия*. Вместе с тем использование химического препарата *Беллис* не оказало достоверного влияния на содержание в плодах катехинов, но привело к обеднению их антоциановыми пигментами и флавонолами соответственно на 3 и 10%, что и обусловило показанное выше снижение в них общего количества Р-витаминов.

В отличие от эксперимента на ЭБ, в полевом опыте на территории КФХ на фоне четырехкратных обработок растений *ХелсБеррином* и особенно при двукратном его применении в сочетании с *Гуматом калия* имело место не обеднение, а напротив, значительное обогащение плодов биофлавоноидами, подтверждаемое увеличением их общего количества на 17 и 36% по сравнению с контролем (см. табл. 3). Столь вы-

Таблица 3. Относительные различия с контролем вариантов опыта с применением фунгицидных препаратов по характеристикам биохимического состава плодов *Vaccinium corymbosum*, %**Table 3.** Relative differences with the control variants of the experiment with the use of fungicidal preparations according to the characteristics of the biochemical composition of the fruits of *Vaccinium corymbosum*, %

Показатели	Варианты опыта				
	Беллис	ХелсБеррин 2 обр.	ХелсБеррин 4 обр.	Х/Б + Гумат К 2 обр.	Х/Б + Гумат К 4 обр.
Отраслевая лаборатория интродукции и технологии ягодных растений					
Собственно антоцианы	-	-17,0	-9,4	-	-8,5
Лейкоантоцианы	-5,9	-	-6,5	-	-39,8
Сумма антоциановых пигментов	-3,4	-11,1	-8,3	-	-20,0
Катехины	-	+4,3	-3,4	-3,4	-6,9
Флавонолы	-9,7	-	+7,5	+12,9	+10,8
Сумма биофлавоноидов	-4,3	-8,1	-5,2	-	-13,8
Совокупный эффект	-23,3	-31,9	-25,3	+9,5	-78,2
Крестьянско-фермерское хозяйство «Ягодное лукошко»					
Собственно антоцианы	-8,9	-5,1	+8,9	+44,3	-7,6
Лейкоантоцианы	+30,1	+17,2	+66,8	+54,4	+22,1
Сумма антоциановых пигментов	-	-	+22,0	+46,6	-
Катехины	-28,5	-34,6	-	-14,1	-28,5
Флавонолы	-14,0	-7,7	+9,1	+21,7	+7,7
Сумма биофлавоноидов	-5,8	-4,6	+16,9	+35,6	-
Совокупный эффект	-27,1	-34,8	+123,7	+188,5	-6,3

Примечание: прочерк означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при $P < 0,05$

раженный позитивный эффект в этих вариантах опыта был обусловлен, главным образом, активизацией накопления в плодах антоциановых пигментов (на 22 и 47%) и в меньшей степени флавонолов (на 9 и 22%). Заметим, что в данном эксперименте использование всех без исключения испытываемых агроприемов обеспечивало усиление накопления в плодах лейкоформ антоциановых пигментов на 17–67%. Но поскольку активизация биосинтеза в них собственно антоцианов отмечена лишь на фоне обозначенных выше агроприемов, а в остальных вариантах опыта происходило снижение их содержания на 5–10%, то сколько-нибудь значимых различий в общем количестве антоциановых пигментов с контролем в этих случаях выявить не удалось. Вместе с тем в большинстве вариантов опыта обнаружена заметная общность тенденций с экспериментом на ЭБ в направленности изменений содержания в плодах катехинов и особенно флавонолов относительно контроля, но с иной степенью выразительности, что обусловило снижение на 5–6% общего выхода Р-витаминов на фоне применения химического фунгицида *Беллис* и двукратных обработок растений *ХелсБеррином*.

Для выявления интегральной картины результативности фунгицидных препаратов разной природы в отношении исследуемых компонентов биофлавоноидного комплекса плодов голубики, в каждом варианте обоих экспери-

ментов было осуществлено суммирование относительных размеров выявленных различий с контролем показателей накопления данных соединений (с учетом их знака), дающее представление о совокупном эффекте от испытываемых агроприемов (см. табл. 3). В полевом опыте на ЭБ применение всех видов фунгицидных препаратов оказало весьма выразительное ингибирующее воздействие на биосинтез Р-витаминов, что подтверждалось отрицательными значениями данного показателя в сопоставимых пределах (23–32%) в вариантах с обработками растений *Беллисом* и *ХелсБеррином*. Лишь в единичном случае – при двукратных обработках *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия* обнаружен незначительный позитивный эффект, что заметно контрастировало с наиболее существенным в рамках эксперимента отрицательным результатом (78%) при четырехкратных обработках смесью этих препаратов.

В аналогичном эксперименте на территории КФХ на фоне применения *Беллиса*, а также двукратных обработок *ХелсБеррином* и четырехкратных обработок смесью *ХелсБеррина* и *Гумата калия* также был получен отрицательный эффект, но если в двух первых случаях он оказался весьма близок по величине установленному в опыте на ЭБ (27 и 35%), то в последнем случае он уступал ему более чем в 12 раз, что свидетельствовало о снижении ингибирующего

действия данного агроприема на формирование Р-витаминного комплекса плодов голубики. При этом четырехкратные обработки *ХелсБеррином* и в большей степени двукратные *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия* обусловили здесь весьма выразительный позитивный эффект в плане воздействия на биофлавоноидный комплекс плодов голубики, составивший 124% и 189% (см. табл. 3).

Как видим, незначительное позитивное действие испытываемых препаратов на совокупность характеристик биофлавоноидного комплекса плодов голубики в опыте на ЭБ выявлено лишь в единичном случае – при двукратном применении *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия*, тогда как в эксперименте на территории КФХ подобный положительный эффект, превышавший по результативности примерно в 20 раз, обнаружен не только в этом варианте, но и при четырехкратной обработке *ХелсБеррином*, уступавшей последнему по эффективности в 1,5

раза. Это однозначно указывает на явную зависимость стимулирующего влияния органических фунгицидных препаратов на биосинтез Р-витаминов от уровня минерального питания растений голубики.

На основании результатов данных исследований были выявлены варианты опыта с наибольшими и соответственно наименьшими параметрами накопления исследуемых компонентов биофлавоноидного комплекса плодов голубики (табл. 4).

Как и следовало ожидать, в обоих экспериментах наибольшее количество максимальных значений параметров выявлено на фоне двукратной обработки растений *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия*. При этом наибольшее количество минимальных значений данных показателей в опыте на ЭБ установлено при четырехкратном использовании данной смеси, тогда как в опыте на территории КФХ – при применении химического фунгицида *Беллис*.

Таблица 4. Варианты полевых опытов с наибольшими (**max**) и наименьшими (**min**) характеристиками биофлавоноидного комплекса плодов *Vaccinium corymbosum*

Table 4. Variants of field experiments with the highest (**max**) and lowest (**min**) characteristics of the bioflavonoid complex of *Vaccinium corymbosum* fruits

Показатели	Варианты опыта					
	Контроль	Беллис	Хелс-Беррин 2 обр.	Хелс-Беррин 4 обр.	Х/Б + Гумат К 2 обр.	Х/Б + Гумат К 4 обр.
Отраслевая лаборатория интродукции и технологии ягодных растений						
Собственно антоцианы	max	max	<i>min</i>		max	
Лейкоантоцианы	max		max		max	<i>min</i>
Сумма антоциановых пигментов	max				max	<i>min</i>
Катехины			max			<i>min</i>
Флавонолы		<i>min</i>			max	
Сумма биофлавоноидов	max				max	<i>min</i>
Крестьянско-фермерское хозяйство «Ягодное лукошко»						
Собственно антоцианы		<i>min</i>			max	
Лейкоантоцианы	<i>min</i>			max		
Сумма антоциановых пигментов					max	
Катехины	max		<i>min</i>	max		
Флавонолы		<i>min</i>			max	
Сумма биофлавоноидов		<i>min</i>			max	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования влияния фунгицидных препаратов – химического *Беллис* и бактериальных *ХелсБеррина* и *ХелсБеррина* в сочетании с *Гуматом калия* при дву- и четырехкратных обработках растений голубики высокорослой на содержание в плодах основных компонентов биофлавоноидного комплекса (антоциановых пигментов, флавонолов и катехинов) в рамках двух полевых экспериментов с иден-

тичной 6-вариантной схемой, но при разном уровне плодородия почвы – менее высоком на экспериментальной базе ЦБС НАН Беларуси (ЭБ) и более высоком в расположенном на 10 км севернее крестьянско-фермерском хозяйстве «Ягодное лукошко», установлено следующее.

Более высокий уровень агрохимического обеспечения на территории КФХ способствовал более активному, чем на ЭБ, накоплению био-

флавоноидов в плодах опытных растений, обусловленному более активным их обогащением собственно антоцианами и флавонолами на фоне преимущественного обеднения лейкоантоцианами и катехинами.

Показано, что направленность и величина сдвигов в составе биофлавоноидного комплекса плодов на фоне применения *ХелсБеррина* (дифференцированного и в сочетании с *Гуматом калия*) в большей степени определялась уровнем кислотности и плодородия субстрата, нежели дозой и кратностью обработок растений данным препаратом.

Установлено, что в обоих экспериментах применение фунгицидных препаратов в большинстве случаев способствовало снижению общего количества биофлавоноидов в плодах голубики на 6–78% относительно контроля, и лишь на фоне двукратной обработки растений *ХелсБеррином* в сочетании с *Гуматом калия* наблюдалось увеличение их содержания на 10% на ЭБ и 189% на КФХ, наиболее значительное при более высоком уровне агрохимического обеспечения, обусловившем также аналогичный, но выраженный в 1,5 раза слабее эффект от четырехкратной обработки *ХелсБеррином*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карабанов, И. А. Флавоноиды в мире растений. / И. А. Карабанов. – Минск: Ураджай, 1981. – 80 с.
2. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domestica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // J. Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.
3. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э.А. Шафтан // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
4. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987. – 430 с.
5. Андреев, В. Ю. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной. / В. Ю. Андреев [и др.]. // Фармация. – 2013. – № 3. – С. 19–21.

Поступила в редакцию 10.02.2023 г.

УДК 615.322:547.587.51:543.544

В. С. СТАТКЕВИЧ, Р. И. ЛУКАШОВ

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУМАРИНОВ В ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО (*HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.)

Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь, e-mail: slawenizm@gmail.com

Аннотация. В корнях, траве и соцветиях борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием стандартных образцов в трех исследованных хроматографических системах обнаружены кумарины умбеллиферон, ксантотоксин и бергаптен. Установлено, что суммарное содержание кумаринов снижается в ряду соцветия–трава–корни. Наилучшее разделение хроматографических пиков кумаринов борщевика отмечено для подвижной фазы, состоящей из ацетонитрила и водного раствора ортофосфорной кислоты. Максимальное содержание умбеллиферона выявлено в траве, ксантотоксина и бергаптена – в соцветиях.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, кумарины, количественное определение, высокоэффективная жидкостная хроматография.

V. S. STATKEVICH, R. I. LUKASHOU

COUMARINS CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS IN THE HOGWEED SOSNOWSKY (*HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.) PLANT ORGANS

Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus, e-mail: slawenizm@gmail.com

Annotation. Umbelliferone, xanthotoxin, and bergapten were found in the roots, herb, and inflorescences of Hogweed Sosnowski Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) by high-performance liquid chromatography using standard in the three studied chromatographic systems. The best separation of the chromatographic peaks of hogweed coumarins was noted for the mobile phase consisting of acetonitrile and an aqueous solution of phosphoric acid. The maximum content of umbelliferon falls on herb, xanthotoxin and bergapten – on inflorescences. In the row of inflorescence – herb – roots, the total content of coumarins decreases.

Keywords: Sosnowski's hogweed, coumarins, quantitative determination, high performance liquid chromatography.

ВВЕДЕНИЕ

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) – сорное растение, с которым на территории Республики Беларусь ведется постоянная борьба. Заросли борщевика регулярно выкашиваются, перед застройкой зданий верхние почвенные слои территории проверяются на наличие семян борщевика, ведется контроль популяций данного растения и предпринимаются ограничительные меры по его распространению [1].

Вредоносность борщевика Сосновского связана не только с агрессивным характером его инвазии, но и со способностью свежего сока растения при контакте с кожей и слизистыми оболочками под действием ультрафиолетового облучения вызывать фотодерматит, вплоть до химического ожога [2, 3]. Данное свойство борщевика связано со способностью накапливать кумарины, к которым относятся такие соединения как ксан-

тотоксин, бергаптен, умбеллиферон, ангелицин, псорален, метоксален и др. [4–6]. Вместе с тем установлено, что эти вещества обладают рядом важных для фармакологии фотосенсибилизирующих, противоопухолевых, антиоксидантных и т.п. свойств [7–9], в связи с чем борщевик Сосновского при соблюдении правил техники безопасности при заготовке его сырья может являться источником биологически активных веществ (БАВ).

Для определения кумаринов в борщевике Сосновского используются различные хроматографические методики [6, 10], отличающиеся, однако, рядом недостатков, к которым относятся: использование в анализе токсичных летучих растворителей, сложность приготовления многокомпонентных систем, определение только нескольких кумаринов, а не полного спектра

БАВ; низкая эффективность разделения хроматографических пиков и др. Поэтому совершенствование методик определения кумаринов борщевика, основанных на использовании метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), является важным направлением исследований.

В данном исследовании за основу разработки хроматографической методики определения кумаринов борщевика были взяты описанные ранее в литературе системы, которые использовались для изучения кумаринов других растений. Как известно, кумарины являются соединениями

кислотного характера, поэтому для их разделения рационально использовать подвижные фазы, содержащие водные растворы кислот. Поэтому для сравнения разделения кумаринов предлагаются как компоненты подвижных фаз водные растворы сильных кислот (например, фосфорной кислоты) [11], слабых кислот (например, уксусной кислоты) [12] и воды [13].

Цель настоящего исследования заключалась в экспериментальном установлении оптимальных хроматографических параметров для анализа состава кумаринов борщевика Сосновского методом ВЭЖХ.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись трава, соцветия (зонтики) и корни растений борщевика Сосновского. Сырье заготавливали в местах естественного произрастания в Минском районе (окрестности д. Новое Поле). Образцы для анализа отбирались в 2022 г.: трава и соцветия в июне–августе в период массового цветения, корни – в октябре–ноябре после отмирания надземной части растений. Заготовку вели с соблюдением правил техники безопасности, избегая попадания сока на открытые участки кожи тела, и использованием средств индивидуальной защиты. Собранное сырье подвергали воздушно-теневого сушке с последующим измельчением до размеров частиц менее 1 мм.

Для получения извлечений использовали 70% этиловый спирт при соотношении сырья и экстрагента 1 к 10 и 1 к 50. Извлечения получали на водяной бане при 60 °С в течение 2 ч с последующим охлаждением до комнатной температуры. Затем извлечения фильтровали и фильтрат использовали для хроматографического анализа.

Анализ извлечений проводили на жидкостном хроматографе Ultimate 3000 с насосом на четыре растворителя и устройством для вакуумной дегазации элюента, автосамплером с термостатом, термостатом для колонок с краном переключения, диодно-матричным и флуоресцентным детекторами. Обработку хроматограмм и спектров поглощения проводили с помощью компьютерной программы Chromeleon 7.

Для анализа кумаринов использовали условия хроматографирования, изложенные в литературных методических источниках [11–13] (табл. 1).

Идентификацию кумаринов осуществляли путем сопоставления времени удерживания и спектров поглощения веществ в извлечении со стандартными образцами умбеллиферона (0,150 г/л, Sigma-Aldrich), ксантотоксина (0,110 г/л, Sigma-Aldrich) и бергаптена (0,100 г/л, Glentham Life Sciences).

Количественное определение индивидуальных кумаринов проводили с использованием метода внешнего стандарта.

Таблица 1. Сравнительная характеристика хроматографических условий, приведенных в методической литературе для определения кумаринов [11–13]

Table 1. Comparative characteristics of the chromatographic conditions given in the method literature for the determination of coumarins [11–13]

Название системы System name	Колонка Column	Температура, °С Temperature, °С	Подвижная фаза (ПФ) Mobile phase (MF)	Условия элюирования Elution conditions	Скорость потока, мл/мин Flow rate, ml/min	Источник Source
Система I System I	MS C ₁₈ (4,6 × 250 мм, 5 мкм)	25	ПФ А – ацетонитрил; ПФ В – 0,5% ортофосфорная кислота	0–40 мин – 95 – 20% В, 40–41 мин – 20 – 95% В, 41–48 мин – 95% В	1,0	[12]
Система II System II	Polaris C ₁₈ (250 × 4,6 мм, 5 мкм)	40	ПФ А – 0,5% раствор уксусной кислоты; ПФ В – ацетонитрил	10–20% В – 0–20 мин; 20–30% В – 20–35 мин; 30–90% В – 35–45 мин	0,8; 0,8–1; 1,0.	[11]
Система III System III	C ₁₈ (4,6 × 250 мм, 5 мкм)	30	ПФ А – ацетонитрил; ПФ В – вода	0–5 мин – 45–55% А; 5–10 мин – 60% А; 10– 25 мин – 70% А	1,0	[13]

Все исследования выполнены не менее чем в 3-кратной повторности ($n = 3$; $P = 95\%$). Результаты представлены в виде среднего значения и полуширины его доверительного интервала. При

оценке статистической значимости различий результатов использовали t-критерий Стьюдента ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены хроматограммы извлечений из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского, полученные в системе I. Данные на рис. 1 показывают, что в системе I происходит хорошее разделение практически всех хроматографических пиков, их достаточно много, пики симметричны, базовая линия четко выражена и параллельна оси X.

На рис. 2 представлены хроматограммы извлечений из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского в системе II. Из данных рис. 2 видно, что хроматографические пики разделились хуже, чем в системе I, их меньше, базовая линия в начале и конце хроматограмм искривляется.

На рис. 3 представлены хроматограммы извлечений из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского в системе III. Данные, представленные на рис. 3 показали, что визуально хроматографический пик умбеллиферона практически не отделяется от соседних пиков, хроматографические пики ксантотоксина и бергаптена содержат по две вершины, что также говорит о плохом разделении и возможном наслаивании пиков двух веществ друг на друга; хроматографические пики имеют ассиметрию, их меньше, чем в системе I.

Учитывая наличие неполного разделения пиков, их ассиметрию и скачки базовой линии, отмеченные на хроматограммах, полученных в разных системах, была проведена оценка спектральной чистоты пиков, принадлежащих идентифицированным кумаринам. Данные по этому параметру приведены в табл. 2.

Отмечено, что значения фактора спектральной частоты пиков в системе I для различных кумаринов в основном выше, чем аналогичные параметры для других систем, что свидетельствует о более высокой разделяющей способности в отношении кумаринов борщевика Сосновского системы I, в которой подвижной фазой выступает смесь ацетонитрила и водного раствора ортофосфорной кислоты в градиентном режиме элюирования.

Для идентификации кумаринов методом ВЭЖХ сопоставляли время удерживания и спектральные характеристики стандартных образцов и веществ в извлечениях. Указанные характеристики приведены в табл. 3 для системы I; в табл. 4 – для системы II; в табл. 5 – для системы III соответственно.

Данные табл. 3–5 свидетельствуют о том, что в системах II и III разница во времени удержания ксантотоксина и бергаптена меньше, чем в системе I, что создает предпосылки для наложения пиков этих веществ друг на друга в системах II и III.

В целом, результаты проведенных исследований в трех использованных хроматографических системах показали (см. рис. 1–3, табл. 3–5), что во всех изученных водно-спиртовых извлечениях из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского присутствуют кумарины умбеллиферон, ксантотоксин и бергаптен, что согласуется с данными, приведенными в работе [14].

На основе обработки полученных количественных данных рассчитаны средние показатели концентрации идентифицированных кумаринов в извлечениях (рис. 4) и их средние массовые доли в пересчете на сухое сырье (рис. 5).

Представленные на рис. 4 данные показывают, что концентрации кумаринов различаются в зависимости от хроматографической системы ($p = 2,3 \cdot 10^{-4}$). Использование системы I с ортофосфорной кислотой показало, что наибольшее содержание умбеллиферона приходится на траву ($p = 4,5 \cdot 10^{-4}$), ксантотоксина и бергаптена – на соцветия ($p = 3,1 \cdot 10^{-6}$ и $5,6 \cdot 10^{-6}$ соответственно).

При использовании системы II с уксусной кислотой выявлено, что наибольшее содержание умбеллиферона и бергаптена приходится на корни и соцветия ($p = 0,068$ и $0,098$ соответственно), ксантотоксина – на корни ($p = 8,9 \cdot 10^{-4}$); использование системы III с водой наибольшее содержание умбеллиферона показало в корнях ($p = 2,7 \cdot 10^{-5}$), бергаптена – в соцветиях ($p = 2,4 \cdot 10^{-6}$), ксантотоксина – в корнях и соцветиях ($p = 0,074$).

Характерно, что значимые различия ($p < 0,05$) в концентрациях трех исследованных кумаринов в извлечениях из разных органов борщевика отмечены только для системы I.

Анализ данных на рис. 5 показывает, что наибольшее суммарное содержание кумаринов отмечено у соцветий в системах I и III, в корнях – в системе II. При этом в системе I содержание кумаринов в траве было на 4,2 % (отн.) ($p = 0,28$) меньше, чем в соцветиях.

Полученные нами результаты хроматографического анализа сопоставимы с данными работы [14], где состав кумаринов в растениях борщевика исследовали методом спектрофотометрии и было

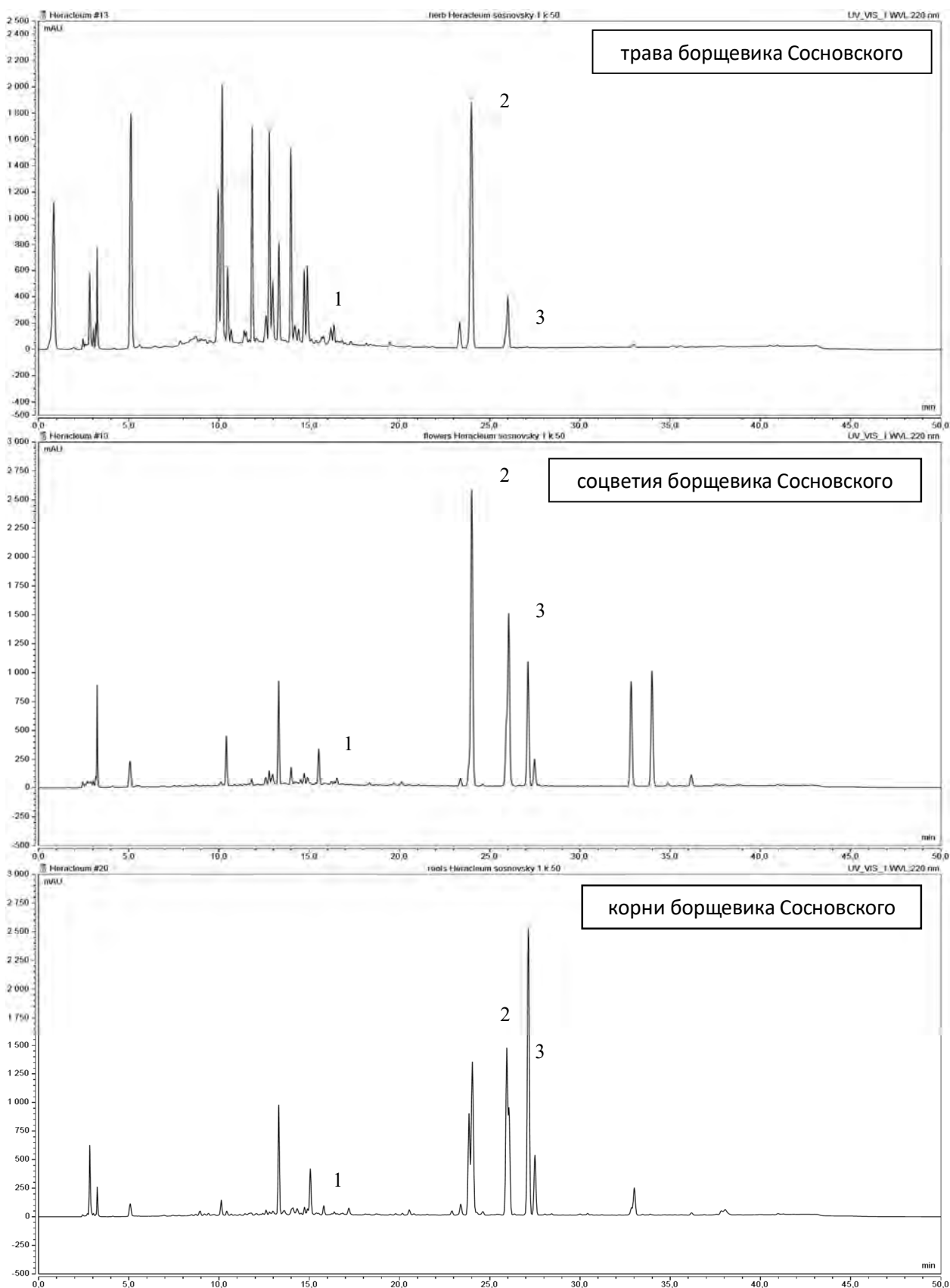


Рис. 1. Хроматограмма водно-спиртового извлечения из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского в системе I: 1 – умбеллиферон, 2 – ксантотоксин, 3 – бергаптен

Fig. 1. Chromatogram of water-alcohol extract from Sosnowski hogweed herb, inflorescences and roots in the system I: 1 – umbelliferon, 2 – xanthotoxin, 3 – bergapten

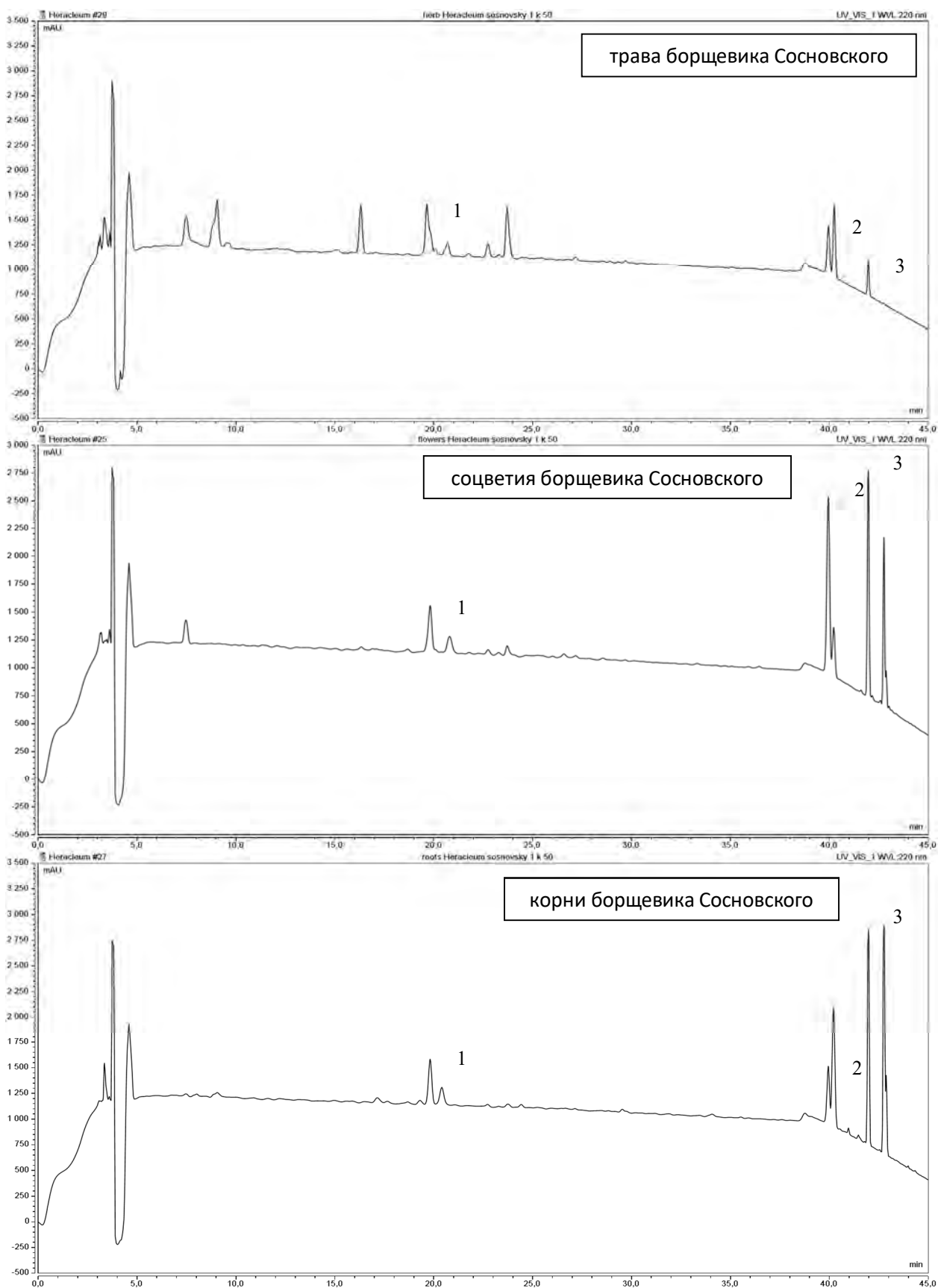


Рис. 2. Хроматограмма водно-спиртового извлечения из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского в системе II: 1 – умбеллиферон, 2 – ксантотоксин, 3 – бергаптен

Fig. 2. Chromatogram of water-alcohol extract from Sosnowski hogweed herb, inflorescences and roots in the system II: 1 – umbelliferon, 2 – xanthotoxin, 3 – bergapten

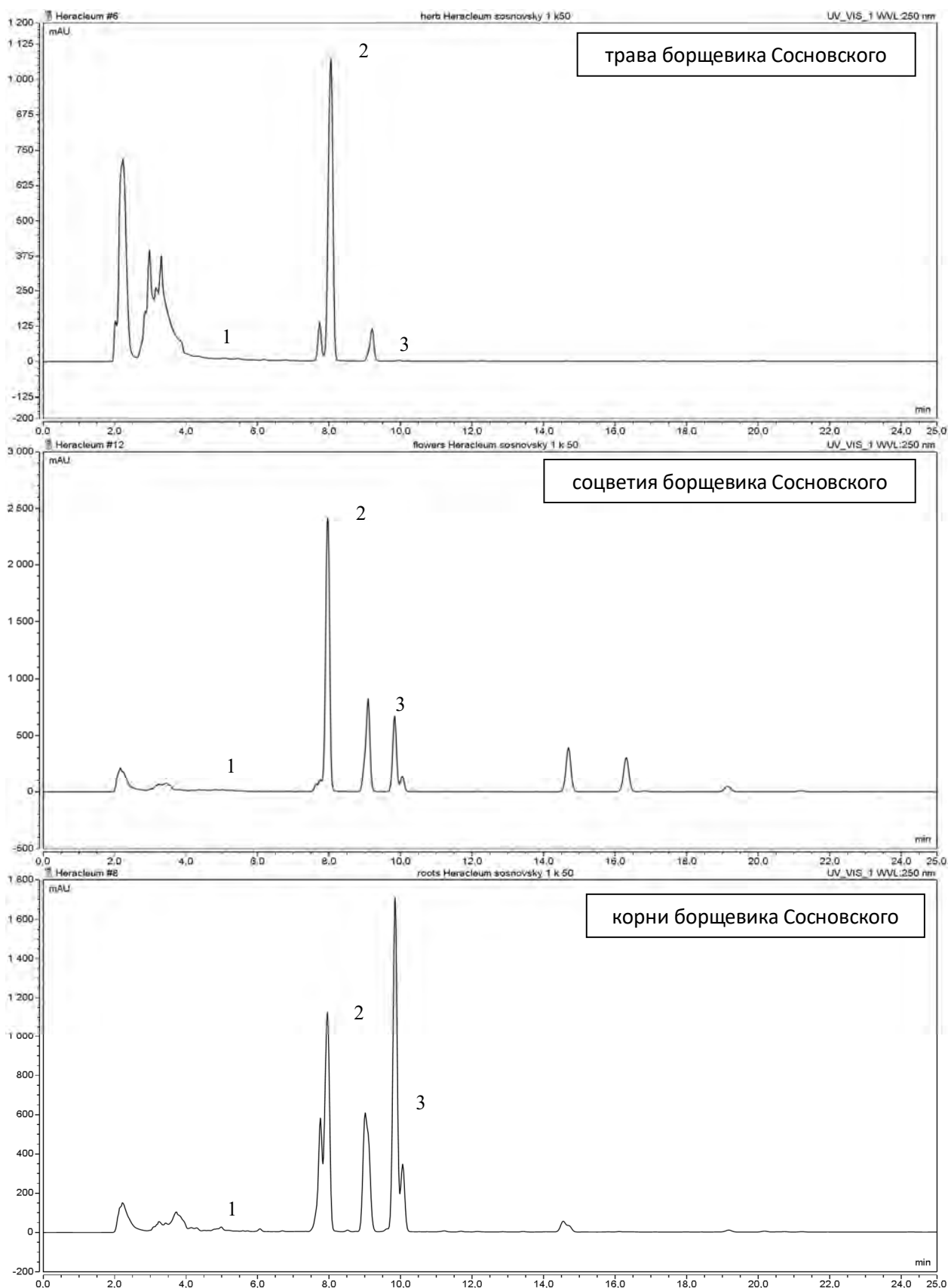


Рис. 3. Хроматограмма водно-спиртового извлечения из травы, соцветий и корней борщевика Сосновского в системе III: 1 – умбеллиферон, 2 – ксантотоксин, 3 – бергаптен

Fig. 3. Chromatogram of water-alcohol extract from Sosnovski hogweed herb, inflorescences and roots in the system III: 1 – umbelliferon, 2 – xanthotoxin, 3 – bergapten

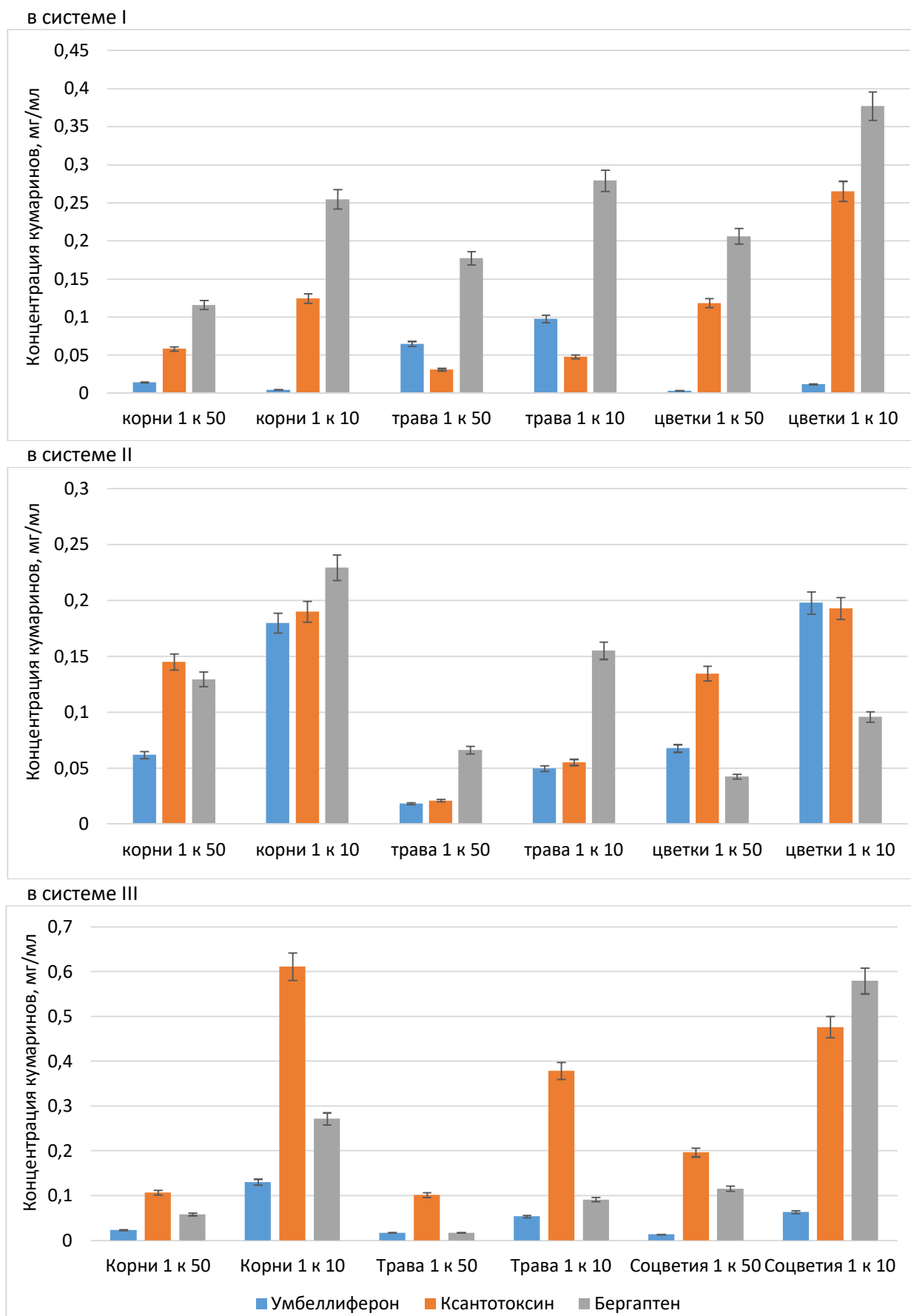


Рис. 4. Концентрация кумаринов в извлечениях из органов растений борщевика Сосновского в системах I, II и III

Fig. 4. Concentration of coumarins in extracts from Sosnowski hogweed in the systems I, II, III

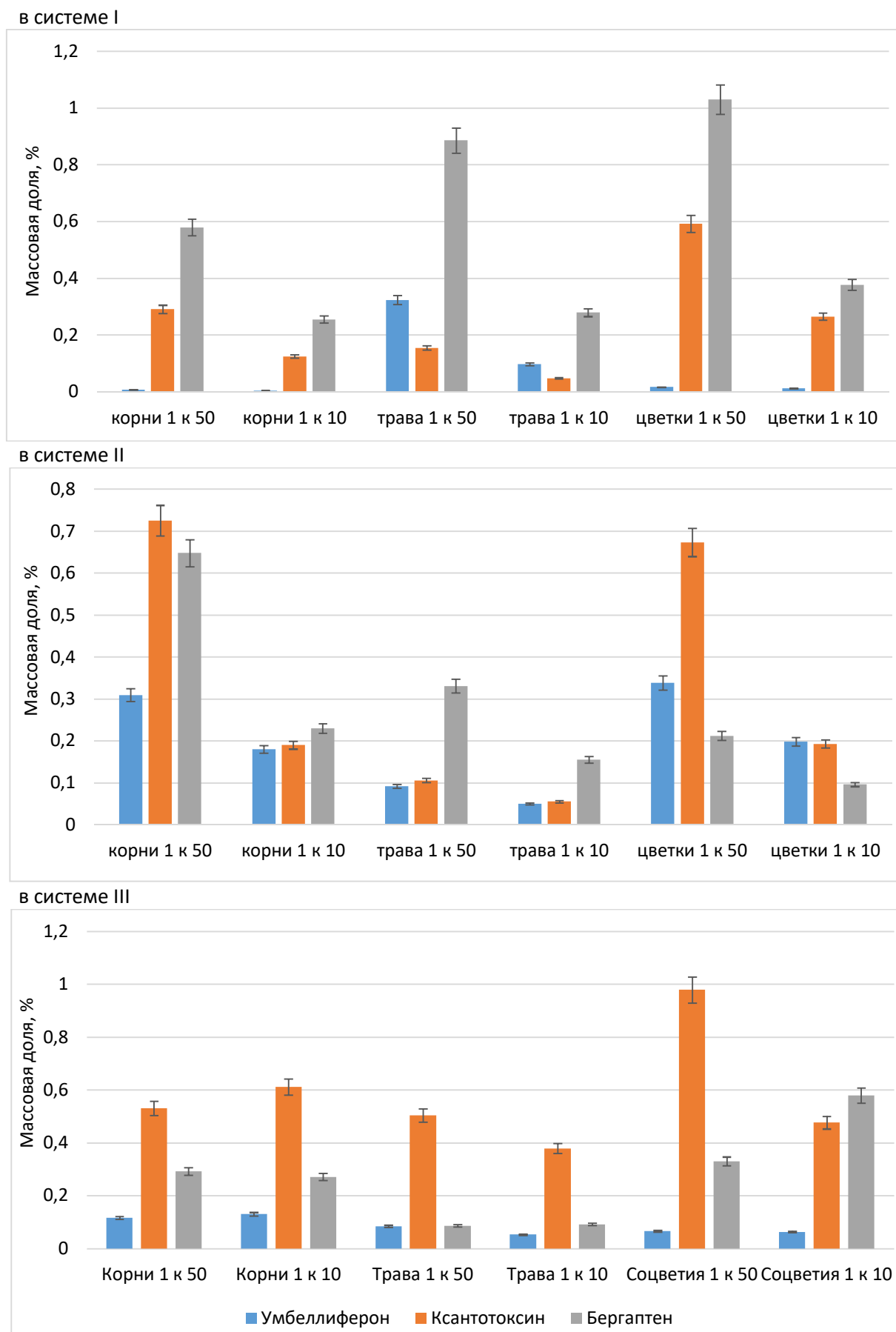


Рис. 5. Массовая доля кумаринов в борщевике Сосновского в системах I, II и III

Fig. 5. Mass fraction of coumarins in Sosnowski hogweed in the systems I, II, III

Таблица 2. Значения фактора спектральной частоты пиков умбеллиферона, бергаптена и ксантотоксина для различных систем

Table 2. The values of the spectral frequency factor of the peaks of umbelliferone, bergapten and xanthotoxin for various systems

Система I / System I						
Вещество	Соцветия / Inflorescences		Трава / Herb		Корни / Roots	
	1 к 10	1 к 50	1 к 10	1 к 50	1 к 10	1 к 50
Умбеллиферон	997	980	999	999	978	977
Бергаптен	997	998	998	998	1000	1000
Ксантотоксин	922	988	985	987	987	993
Система II / System II						
Вещество	Соцветия / Inflorescences		Трава / Herb		Корни / Roots	
	1 к 10	1 к 50	1 к 10	1 к 50	1 к 10	1 к 50
Умбеллиферон	888	912	805	913	701	939
Бергаптен	942	986	1000	1000	944	986
Ксантотоксин	942	956	990	988	974	985
Система III / System III						
Вещество	Соцветия / Inflorescences		Трава / Herb		Корни / Roots	
	1 к 10	1 к 50	1 к 10	1 к 50	1 к 10	1 к 50
Умбеллиферон	985	989	997	986	961	975
Бергаптен	986	992	993	993	993	996
Ксантотоксин	963	994	975	986	970	988

Таблица 3. Хроматографические и спектральные характеристики стандартных образцов кумаринов и кумаринов борщевика Сосновского в системе I

Table 3. Chromatographic and spectral characteristics of standard samples of coumarins and coumarins from Hogweed Sosnowski in the system I

Вещество Substance name	Время удержания, мин Retention time, min	Максимумы поглощения в спектрах, нм Absorption maxima in spectra, nm			
<i>Стандартные образцы кумаринов</i>					
Умбеллиферон	14,4	198		324	
Ксантотоксин	24,0	218	248	302	
Бергаптен	25,8	222	250	267	312
<i>Кумарины борщевика Сосновского</i>					
Извлечение из травы (1 к 50)					
Умбеллиферон	14,5	202		326	
Ксантотоксин	24,0	216	244	301	
Бергаптен	26,0	222	250	267	312
Извлечение из травы (1 к 10)					
Умбеллиферон	14,7	200		323	
Ксантотоксин	24,0	216	243	301	
Бергаптен	26,1	222	250	267	312
Извлечение из соцветий (1 к 50)					
Умбеллиферон	14,5	202		326	
Ксантотоксин	24,0	213	243	300	
Бергаптен	26,1	222	250	266	312
Извлечение из соцветий (1 к 10)					
Умбеллиферон	14,7	200		323	
Ксантотоксин	23,9	215	236	298	
Бергаптен	26,0	221	249	265	311
Извлечение из корней (1 к 50)					
Умбеллиферон	14,5	202		326	
Ксантотоксин	24,0	216	247	301	
Бергаптен	26,1	222	250	267	312
Извлечение из корней (1 к 10)					
Умбеллиферон	14,5	202		326	
Ксантотоксин	24,0	216	244	301	
Бергаптен	26,0	222	250	266	312

Таблица 4. Хроматографические и спектральные характеристики стандартных образцов кумаринов и кумаринов борщевика Сосновского в системе II

Table 4. Chromatographic and spectral characteristics of standard samples of coumarins and coumarins from Hogweed Sosnowski in system II

Вещество Substance name	Время удержания, мин Retention time, min	Максимумы поглощения в спектрах, нм Absorption maxima in spectra, nm			
<i>Стандартные образцы кумаринов</i>					
Умбеллиферон	19,3	197		324	
Ксантотоксин	40,2	220	248	302	
Бергаптен	42,0	222	250	266	312
<i>Кумарины борщевика Сосновского</i>					
Извлечение из травы (1 к 50)					
Умбеллиферон	19,9	199		325	
Ксантотоксин	40,3	218	248	302	
Бергаптен	42,0	222	249	267	312
Извлечение из травы (1 к 10)					
Умбеллиферон	19,9	218		325	
Ксантотоксин	40,3	218	248	302	
Бергаптен	42,0	222	249	267	312
Извлечение из соцветий (1 к 50)					
Умбеллиферон	19,8	217		325	
Ксантотоксин	40,2	215	248	302	
Бергаптен	42,0	222	250	267	312
Извлечение из соцветий (1 к 10)					
Умбеллиферон	19,9	220		326	
Ксантотоксин	40,2	218	248	302	
Бергаптен	42,0	222	249	267	313
Извлечение из корней (1 к 50)					
Умбеллиферон	19,8	197		325	
Ксантотоксин	40,2	218	249	302	
Бергаптен	42,0	222	249	268	313
Извлечение из корней (1 к 10)					
Умбеллиферон	19,8	197		325	
Ксантотоксин	40,2	218	248	302	
Бергаптен	42,0	222	249	268	313

Таблица 5. Хроматографические и спектральные характеристики стандартных образцов кумаринов и кумаринов борщевика Сосновского в системе III

Table 5. Chromatographic and spectral characteristics of standard samples of coumarins and coumarins from Hogweed Sosnowski in the system III

Название вещества Substance name	Время удержания, мин Retention time, min	Максимумы поглощения в спектрах, нм Absorption maxima in spectra, nm			
<i>Стандартные образцы кумаринов</i>					
Умбеллиферон	4,3	198		324	
Ксантотоксин	7,9	218	248	301	
Бергаптен	9,1	222	250	267	312
<i>Кумарины борщевика Сосновского</i>					
Извлечение из травы (1 к 50)					
Умбеллиферон	4,2	204		323	
Ксантотоксин	8,1	215	247	301	
Бергаптен	9,2	222	250	267	312
Извлечение из травы (1 к 10)					
Умбеллиферон	4,3	196		317	
Ксантотоксин	7,9	216	240	301	
Бергаптен	9,1	222	250	267	312
Извлечение из соцветий (1 к 50)					
Умбеллиферон	4,4	202		324	

Название вещества Substance name	Время удержания, мин Retention time, min	Максимумы поглощения в спектрах, нм Absorption maxima in spectra, nm			
Ксантотоксин	8,0	214	244	300	
Бергаптен	9,1	222	250	266	312
Извлечение из соцветий (1 к 10)					
Умбеллиферон	4,4	202		324	
Ксантотоксин	8,0	216	236	300	
Бергаптен	9,1	218	249	264	310
Извлечение из корней (1 к 50)					
Умбеллиферон	4,2	199		324	
Ксантотоксин	8,0	214	247	301	
Бергаптен	9,1	222	250	267	312
Извлечение из корней (1 к 10)					
Умбеллиферон	4,3	198		319	
Ксантотоксин	7,9	215	239	300	
Бергаптен	9,1	221	250	266	312

установлено, что наименьшее количество этих веществ содержится в траве, а наибольшее – в соцветиях. Корни в данной работе не изучались.

С учетом того, что наилучшее разделение пиков в наших исследованиях получено в системе I и результаты оценки содержания кумаринов в

растительном материале при использовании этой системы сопоставимы с литературными данными, следует резюмировать что данную хроматографическую систему можно рекомендовать для количественного определения кумаринов в растениях борщевика Сосновского.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В корнях, траве и соцветиях борщевика Сосновского в трех изученных хроматографических системах ВЭЖХ обнаружены кумарины умбеллиферон, ксантотоксин и бергаптен. Наилучшей разделяющей способностью в отношении кумаринов борщевика обладает подвижная фаза, состоящая из ацетонитрила и водного раствора ортофосфорной кислоты в градиентном режиме элюирования.

Наибольшая концентрация умбеллиферона приходится на траву и составляет $0,097 \pm 0,010$

г/л, что равняется массе доле в $0,097 \pm 0,010\%$ ($p=2,5 \cdot 10^{-5}$) в пересчете на сухое сырье. Максимальной концентрацией ксантотоксина и бергаптена характеризуются извлечения из соцветий, что составляет $0,377 \pm 0,103$ г/л и $0,265 \pm 0,087$ г/л и в пересчете на сухое сырье равняется массовой доле $0,377 \pm 0,103\%$ ($p=1,5 \cdot 10^{-4}$) и $0,265 \pm 0,087\%$ ($p=4,8 \cdot 10^{-6}$) соответственно. Установлено, что корни борщевика Сосновского содержат наименьшее ($p=3,9 \cdot 10^{-6}$) количество кумаринов по сравнению с травой и соцветиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проведение мероприятий по регулированию распространения и численности борщевика Сосновского: памятка/ М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://minskpriroda.gov.by/infotape/actually/the-memo-implementation-of-measures-to-regulate-the-distribution-and-abundance-of-hogweed-sosnowski>. – Дата доступа: 21.02.2023
2. Симонова, А. Ю. Фотохимический дерматит вследствие контакта с соком борщевика Сосновского / А. Ю. Симонова [и др.] // Журнал им. Н. В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». – 2020. – № 9 (4). – С. 653–658.
3. Kasperkiewicz, K. Sunscreening and photosensitizing properties of coumarins and their derivatives / K. Kasperkiewicz, A. Erkiert-Polguj, E. Budzisz // Lett. Drug Design Discovery. – 2016. – Vol. 13, No 5. – P. 465–474. doi:10.2174/1570180812666150901222106.
4. Trusyuk, K. A. Prospects for the use of raw materials of hogweed *Heracleum sosnowskyi* in medicine and pharmacy / K. A. Trusyuk, N. V. Nesterova // Natural resources of the Earth and environmental protection. – 2022. – Vol. 3, No 1. – S. 71–76.
5. Ламан, Н. А. Локализация и состав кумаринов в корнях борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) / Н. А. Ламан, А. В. Усик // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 71–75. doi:10.29235/1029-8940-2020-65-1-71-75
6. Агеев, В. П. Качественный и количественный анализ основных производных псоралена сока борщевика Сосновского / В. П. Агеев [и др.] // Фармация. – 2022. – № 3. – С. 10-17. doi:10.29296/25419218-2022-03-02.

7. Dandriyal, J. Recent developments of C-4 substituted coumarin derivatives as anticancer agents / J. Dandriyal [et al.] // Eur. J. Med. Chem. – 2016. – Vol. 119. – P. 141–168. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.03.087>
8. Al-Majedy, Y. Antioxidant activity of coumarins / Y. Al-Majedy [et al.] // System. Rev. Pharm. – 2017. – Vol. 8, N 1. – P. 24–30. doi:10.5530/srp.2017.1.6.
9. Hu, Y. Q. Recent developments of coumarin-containing derivatives and their anti-tubercular activity / Y. Q. Hu [et al.] // Eur. J. Med. Chem. – 2017. – Vol. 136. – P. 122–130. doi:10.1016/j.ejmech.2017.05.004
10. Черняк, Д. М. Фурукумарины *Heracleum sosnowskyi* и *Heracleum moellendorffii* / Д. М. Черняк [и др.] // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2013. – № 2. – С. 91–93.
11. Wang, S. Simultaneous determination of 12 coumarins in Bamboo leaves by HPLC / S. Wang [et al.] // Journal of AOAC International. – 2013. – V. 96. - No 5. – P. 942–946. doi:10.5740/jaoacint.12-441.
12. Zhang, G. Simultaneous analysis of trans- and cis-isomers of 2-glucosyloxycinnamic acids and coumarin derivatives in *Dendrobium thysiflorum* by high-performance liquid chromatography (HPLC)-photodiode array detection (DAD)-electrospray ionization (ESI)-tandem mass spectrometry (MS) / G. Zhang [et al.] // Analytica Chimica Acta. – 2006. – V. 571. – P. 17–24. doi:10.1016/j.aca.2006.04.062.
13. Ламан, Н. А. Биохимический состав фурукумаринов, накапливающихся в эфиромасличных канальцах мерикарпиев борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) / Н. А. Ламан, Н. А. Копылова // Стратегия ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков и других опасных инвазивных видов растений: материалы науч.- практ. семинара, Минск, 17–19 сент. 2019 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича; ред.: Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров, А. В. Бабков. – Минск, 2019. – С. 24–26.
14. Andreeva, L. V. Content of Coumarins in Various Organs of Sosnovsky's Hogweed (*Heracleum sosnowski* Manden.) / L. V. Andreeva // IOP Conf. Series: Earth and Envir. Sc. – 2021. – Vol. 852. doi: 10.1088/1755-1315/852/1/012006.

Поступила в редакцию 10.05.2023 г.

УДК 615.011:582.943:543.544

В. А. ТЕРЛЕЦКАЯ, Р. И. ЛУКАШОВ

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ТРАВЫ ВИДОВ РОДА *LAMIMUM* L.

Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь, e-mail: terleckaiava@mail.ru

Аннотация. При помощи метода тонкослойной хроматографии исследовали состав биологически активных веществ (БАВ) травы видов рода *Lamium* L.: *Lamium album*, *L. purpureum*, *L. maculatum*, *L. galeobdolon* и примесных видов – *Glechoma hederacea* Agans., *Urtica dioica* L. Разделение проведено на хроматографических пластинках со слоем силикагеля и целлюлозы в 15-ти системах растворителей. В качестве проявителя использован 2-аминоэтиловый эфир дифенилборной кислоты. Выявлено 2 системы с наибольшей эффективностью разделения. В траве всех исследованных видов при помощи стандартных образцов флавоноидов и гидроксикоричных кислот обнаружены рутин (кроме *L. galeobdolon*) и хлорогеновая кислота. В траве *L. purpureum* и *G. hederacea* дополнительно идентифицирован цинарозид. На хроматографических пластинках также выявлены зоны, характерные для неидентифицированных флавоноидов и гидроксикоричных кислот. Показано, что предложенные подвижные фазы позволяют однозначно различать исследованные виды.

Ключевые слова: тонкослойная хроматография, *Lamium album*, *Lamium purpureum*, *Lamium maculatum*, *Lamium galeobdolon*.

V. A. TSIARLETSKAYA, R. I. LUKASHOU

STUDY OF THE BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES COMPOSITION IN THE HERB OF GENUS *LAMIMUM* L. SPECIES

Belarusian State Medical University,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: terleckaiava@mail.ru

Annotation. The aim of the study was to study the composition of the herb *Lamium album*, *Lamium purpureum*, *Lamium maculatum*, *Lamium galeobdolon* and admixture species - *Glechoma hederacea*, *Urtica dioica* using thin layer chromatography. The separation was carried out on chromatographic plates with a layer of silica gel and cellulose in 15 solvent systems. Diphenylboronic acid 2-aminoethyl ester was used as a developer. 2 systems with the highest separation efficiency were identified. Rutin (except *L. galeobdolon*) and chlorogenic acid were found in the herb of all studied species using standard samples of flavonoids and hydroxycinnamic acids. Cynaroside was additionally identified in the grass *L. purpureum* and *G. hederacea*. The chromatographic plates also revealed zones characteristic of unidentified flavonoids and hydroxycinnamic acids. It is shown that the proposed mobile phases make it possible to unambiguously distinguish the studied species.

Keywords: thin layer chromatography, *Lamium album*, *Lamium purpureum*, *Lamium maculatum*, *Lamium galeobdolon*.

ВВЕДЕНИЕ

Растения рода *Lamium* L. повсеместно произрастают на территории Республики Беларусь. *L. album* чаще встречается в населённых пунктах: у заборов, в садах, парках, долинах рек. *L. purpureum* – сорное растение, произрастающее в огородах, садах, на полях; *L. maculatum* - в лесах нечернозёмной полосы, преимущественно по тенистым местам; *L. galeobdolon* – по лесам, ольшаникам, оврагам, садам и паркам, произрастает в основном на богатых почвах [1].

Сравнительный анализ биологически активных соединений фенольной природы изучаемых

видов методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) ранее не проводился. Данные по методологии тонкослойной хроматографии накоплены незначительные. Так, для анализа *L. galeobdolon* рекомендована подвижная фаза, позволяющая разделить гарпагид и 8-ацетилгарпагид, однако данные иридоиды отсутствуют в других видах ясноток [2]. Предложена методика ТСХ для разделения моносахаридов *L. album* и *L. purpureum*, однако биологическую активность данных видов обеспечивают не только углеводы. Проведено успешной разделением стероидов яснотки

белой, однако липофильная фаза не позволяет разделить преобладающие фенольные соединения [3]. В описанных методиках ТСХ для разделения полярных веществ фигурировали два вида: *L. album* [4] и *L. purpureum* [5].

Подбор условий хроматографирования необходим для разработки нормативной документации. На данный момент имеется только статья на сырьё *L. album* во французской гомеопатической фармакопее и фармакопейная статья предприятия на сырьё *L. purpureum* и *L. galeobdolon*. При этом целесообразно выявить систему растворителей, позволяющую однозначно дифференцировать изучаемые виды.

Цель настоящей работы заключалась в сравнении компонентного состава биологически ак-

тивных веществ (БАВ) травы *L. album*, *L. purpureum*, *L. maculatum*, *L. galeobdolon* (*Galeobdolon luteum* L.) и примесных к ним *Glechoma hederacea* и *Urtica dioica* методом тонкослойной хроматографии (ТСХ).

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

1) Оценить эффективность разделения компонентов извлечений в различных системах растворителей и выбрать системы с наибольшей эффективностью разделения.

2) Идентифицировать биологически активные вещества при сопоставлении со стандартными образцами.

3) Выявить сходства и различия в фенольном составе исследованных видов.

МАТЕРИАЛЫ (ОБЪЕКТЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований служили заготовленные в период цветения в местах естественного обитания яснотки белой листья (*Lamii albi folia*) в окрестностях г. Минска; яснотки пурпурной трава (*Lamii purpurei herba*) в д. Нечатово; яснотки крапчатой трава (*Lamii maculati herba*); яснотки зеленчуковой трава (*Lamii galeobdoli herba*) в окрестностях г. Кличев. Сырьё подвергалось воздушно-теневого сушке.

В ходе исследования использовали весы аналитические Explorer EX 125D, баню водяную WB-12, облучатель хроматографический УФС-254/365.

Использовали метод одномерной восходящей тонкослойной хроматографии.

Испытуемые растворы. Навеску измельченного сырья массой 0,200 г экстрагировали 40% спиртом этиловым (об./об.) в течение 30 мин на водяной бане при температуре 60°C и соотношении сырьё : экстрагент 1:25.

Растворы сравнения. Готовили 0,2% растворы галловой кислоты, гиперозида, дигидрокверцетина, изокверцитрина, кверцетина, кверцетин-3-β-глюкуронида, кофейной кислоты, мирицетина, рутина, хлорогеновой кислоты, цинарозида в 40% этиловом спирте (об./об.). Использовали системы растворителей, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Использованные системы растворителей

Table 1. Solvent systems used

№	Лекарственное растительное сырьё из частной фармакопейной статьи	Система:	Соотношение (об./об.):
1	ОСР	Бутанол-кислота уксусная-вода	4:1:2 4:1:3 4:1:5 10:3:7
2	Ольхи черной листья	2-пропанол- кислота муравьиная-вода	2:5:5
3	Пижмы цветки	Кислота муравьиная-кислота уксусная-вода-этилацетат	7:7:14:72
4	Липы цветки	Кислота муравьиная-вода-метилэтилкетон-этилацетат	10:10:30:50
5	Фиалки трава	Кислота муравьиная-кислота уксусная-вода-этилацетат	11:11:27:100
6	Рудбекии шершавой цветки	Этилацетат-толуол-кислота уксусная-вода	10:1:10:1
7	Ольхи серой листья	Кислота уксусная	*30%
8	ОРС	Кислота муравьиная-вода-метанол-этилацетат	2,5:4:4:50
9	Череды трава	Этилацетат-кислота уксусная-вода	5:1:1
10	Мяты перечной листья	Этилацетат-толуол	5:95
11	Мелиссы трава; Мелиссы листья	Этилацетат-гексан	10:90
12		*Кислота фосфорная-ацетонитрил-вода	1:19:80
13		*Кислота фосфорная-метанол-ацетонитрил	1:40:59
14	Бузины черной цветки	Кислота муравьиная-вода-метилэтилкетон-этилацетат	10:10:30:5
15	Левзеи сафлоровидной корневища с корнями; Левзеи сафлоровидной листья	Толуол-ацетон-метанол -аммиак	100:140:32:9

Примечание: ОРС – общепринятые системы растворителей в ТСХ для разделения БАВ многих лекарственных растений;

* – системы растворителей, которые использованы из высокоэффективной жидкостной хроматографии для проведения ТСХ

Пластинки: 1) ТСХ пластинка со слоем силикагеля марки «TLC Silica gel 60» фирмы «Merck» (Германия); 2) ТСХ пластинка со слоем целлюлозы марки «TLC Cellulose» фирмы «Merck» (Германия);

Наносимый объем пробы: 20 мкл в виде точек.

Фронт подвижной фазы: не менее 8 см от линии старта.

Проявление: пластинку обрабатывали раствором 10 г/л аминоэтилового эфира дифенилборной кислоты в метаноле и затем раствором 50 г/л макрогола-400 в метаноле.

Высушивание: на воздухе. Просматривали в ультрафиолетовом (УФ) свете при длинах волн 254 и 365 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В системах № 6-15 разделения не произошло. В системах № 3-5 БАВ разделились, однако в системах № 3 и 4 различные виды рода *Lamium* имели схожее местоположение зон, что может затруднить идентификацию, а в системе № 5 стандарты *рутина* и *кислоты хлорогеновой* имели одинаковое значение R_f (0,68).

При хроматографировании в системе № 1 (БУВ) на пластинках со слоем силикагеля во всех исследованных соотношениях зоны БАВ имели одинаковые значения индексов удерживания, однако системы с соотношением 4:1:3, 10:3:7 при хранении расслаивались, система 4:1:2 мутнела, чего не происходило с системой 4:1:5. Для дальнейших исследований была выбрана система растворителей БУВ 4:1:5 (рис. 1, табл. 2).

После сравнения индексов удерживания БАВ с индексами удерживания стандартных образцов вещество В ($R_f = 0,68$) идентифицировано как *рутин*, вещество Z ($R_f = 0,82$) идентифицировано как *цинарозид*, вещество С ($R_f = 0,64$) – как *хлорогеновая кислота* (см. рис. 1).

Таким образом, в исследованных видах рода *Lamium* и примесных видах (*Glechoma hederacea* и *Urtica dioica*) идентифицированы следующие вещества, представленные в табл. 3.

В системе БУВ 4:1:5 возможно различить между собой 4 исследованных вида рода *Lamium* и примесные к ним виды *Glechoma hederacea* и *Urtica dioica* (табл. 4).

В результате хроматографирования (рис. 2) в системе № 2 (2-пропанол-кислота муравьиная-вода), были выявлены зоны следующих веществ, приведенные в табл. 5.

После сопоставления зон БАВ с зонами нанесённых на пластинку стандартов установлено, что вещество L с R_f 0,29 соответствует *цинарозиду*, вещество E с R_f 0,85 соответствует *хлорогеновой кислоте*, вещество F с R_f 0,75 соответствует *рутину* (см. рис. 2).

Таким образом, по результатам хроматографирования в системе № 2 идентифицированы следующие вещества, представленные в табл. 6.

Полученные данные соответствуют данным, полученным в результате хроматографирования в системе № 1.

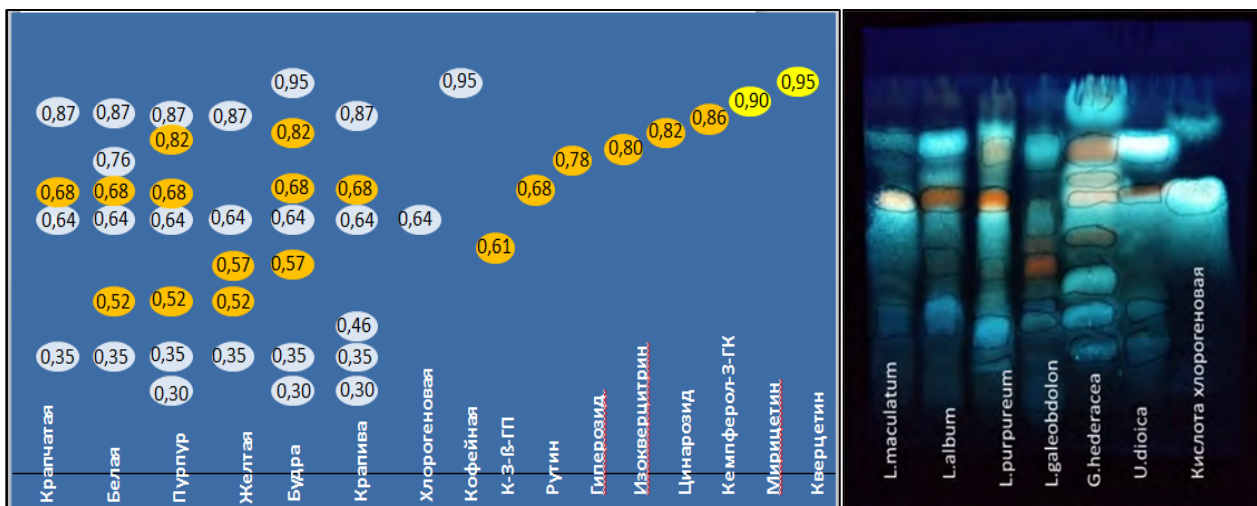


Рис. 1. Внешний вид хроматографической пластинки в УФ-свете после проявления в системе БУВ 4:1:5

Fig. 1. Appearance of the chromatographic plate in the UV representation after presentation in the BUV 4:1:5 system

Таблица 2. Внешний вид хроматографической пластинки в системе растворителей БУВ 4:1:5**Table 2.** Appearance of the chromatographic plate in the solvent system BAW 4:1:5

Верх хроматографической пластинки					
–	–	–	–	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество U ($R_f=0,95$)	–
Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество A ($R_f=0,87$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество A ($R_f=0,87$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество A ($R_f=0,87$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество A ($R_f=0,87$)		Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество A ($R_f=0,87$)
–	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество Z ($R_f=0,82$)	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество Z ($R_f=0,82$)	–
–	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество X ($R_f=0,76$)	–	–	–	–
Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество B ($R_f=0,68$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество B ($R_f=0,68$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество B ($R_f=0,68$)	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество B ($R_f=0,68$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество B ($R_f=0,68$)
Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество C ($R_f=0,64$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество C ($R_f=0,64$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество C ($R_f=0,64$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество C ($R_f=0,64$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество C ($R_f=0,64$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество C ($R_f=0,64$)
–	–	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество P ($R_f=0,57$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество P ($R_f=0,57$)	–
–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество Y ($R_f=0,52$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество Y ($R_f=0,52$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество Y ($R_f=0,52$)	–	–
–	–	–	–	–	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество T ($R_f=0,46$)
Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество D ($R_f=0,35$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество D ($R_f=0,35$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество D ($R_f=0,35$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество D ($R_f=0,35$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество D ($R_f=0,35$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество D ($R_f=0,35$)
–	–	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,30$)	–	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,30$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,30$)
<i>Lamium maculatum</i>	<i>Lamium album</i>	<i>Lamium purpureum</i>	<i>Lamium galeobdolon</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Urtica dioica</i>

Таблица 3. Вещества, идентифицированные в видах рода *Lamium* и примесных к ним видах в системе № 1**Table 3.** Substances identified in species of the genus *Lamium* and admixture species in system No 1

БАВ	<i>Lamium album</i>	<i>Lamium purpureum</i>	<i>Lamium maculatum</i>	<i>Lamium galeobdolon</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Urtica dioica</i>
Кислота хлорогеновая	+	+	+	+	+	+
Кислота кофейная	–	–	–	–	+	–
Рутин	+	+	+	–	+	+
Цинарозид	–	+	–	–	+	–

Таблица 4. Отличительные особенности видов рода *Lamium* и примесных к ним в системе БУВ 4:1:5**Table 4.** Distinctive features of species of the genus *Lamium* and admixtures to them in the system BUV 4:1:5

Вид	Количество зон	Отличительные особенности
<i>Lamium album</i>	6	Сходна с <i>U. dioica</i> , отличается от неё отсутствием зон веществ I и T, наличием зон вещества X и Y.
<i>Lamium purpureum</i>	7	Сходна с <i>G. hederacea</i> , также содержит зону, соответствующую <i>цинарозиду</i> . Отличается наличием зон веществ A и Y и отсутствием зон веществ U и P.
<i>Lamium maculatum</i>	4	Наименьшее количество обнаруженных зон.
<i>Lamium galeobdolon</i>	5	Только в данном экстракте не обнаруживается зона, соответствующая <i>рутину</i> .
<i>Glechoma hederacea</i>	9	Только в данном экстракте обнаруживается зона, соответствующая <i>кофейной кислоте</i> .
<i>Urtica dioica</i>	5	Сходна с <i>L. album</i> , отличается наличием зон веществ I и T, отсутствием зон X и Y.

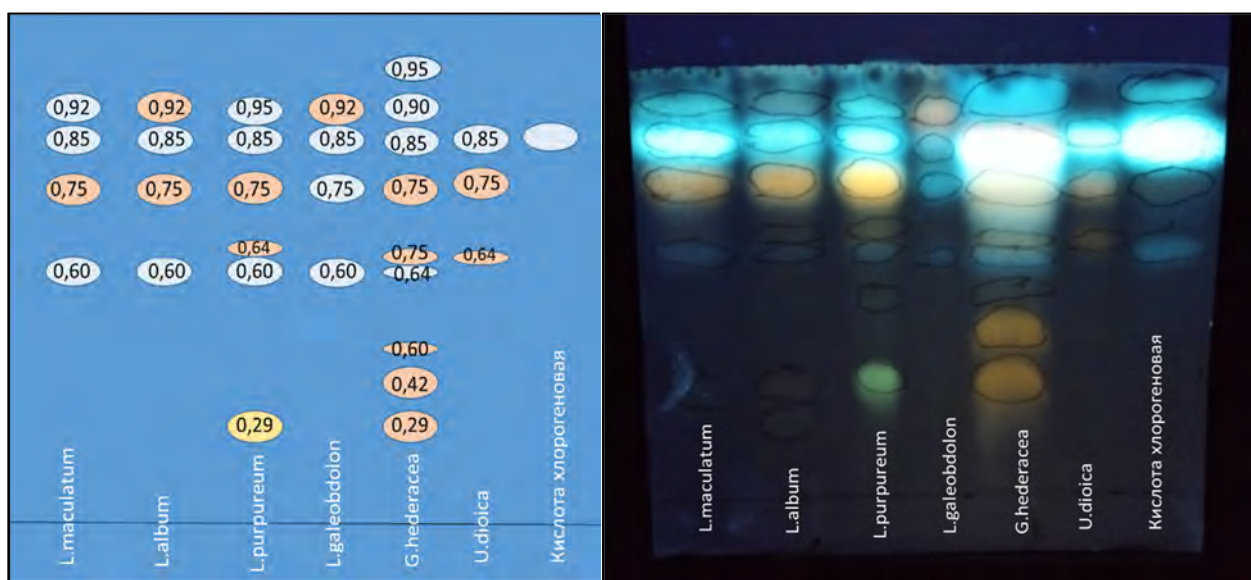
**Рис. 2.** Внешний вид хроматографической пластинки в УФ-свете после проявления в системе 2-пропанол-кислота муравьиная-вода**Fig. 2.** Appearance of a chromatographic plate in UV light after development in the 2-propanol-formic acid-water system

Таблица 5. Внешний вид хроматографической пластинки в системе растворителей 2-пропанол-кислота муравьиная-вода

Table 5. Appearance of a chromatographic plate in the solvent system 2-propanol-formic acid-water

Верх хроматографической пластинки					
–	–	–	–	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество А ($R_f=0,95$)	–
Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество В ($R_f=0,92$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество С ($R_f=0,92$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество В ($R_f=0,95$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество С ($R_f=0,92$)	–	–
–	–	–	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество D ($R_f=0,90$)	–
Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество E ($R_f=0,85$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество E ($R_f=0,85$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество E ($R_f=0,85$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество E ($R_f=0,85$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество E ($R_f=0,85$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество E ($R_f=0,85$)
Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество F ($R_f=0,75$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество F ($R_f=0,75$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество F ($R_f=0,75$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество G ($R_f=0,75$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество F ($R_f=0,75$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество F ($R_f=0,75$)
–	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество H ($R_f=0,64$)	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество H ($R_f=0,64$)	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество H ($R_f=0,64$)
Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,60$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,60$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,60$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,60$)	Флуоресцирующая зона голубого цвета: вещество I ($R_f=0,60$)	–
–	–	–	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество K ($R_f=0,42$)	–
–	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество L ($R_f=0,29$)	–	Флуоресцирующая зона оранжевого цвета: вещество L ($R_f=0,29$)	–
<i>Lamium maculatum</i>	<i>Lamium album</i>	<i>Lamium purpureum</i>	<i>Lamium galeobdolon</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Urtica dioica</i>

Таблица 6. Вещества, идентифицированные в видах рода *Lamium* и примесных к ним видах в системе растворителей №2

Table 6. Substances identified in species of the genus *Lamium* and admixture species in solvent system No 2

	<i>Lamium album</i>	<i>Lamium purpureum</i>	<i>Lamium maculatum</i>	<i>Lamium galeobdolon</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Urtica dioica</i>
Кислота хлорогеновая	+	+	+	+	+	+
Рутин	+	+	+	–	+	+
Цинарозид	–	+	–	–	+	–

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди 15-ти использованных в хроматографическом анализе систем растворителей наилучшее разделение биологически активных веществ, содержащихся в наземной фитомассе изученных видов растений, происходит в системах бутанол-кислота уксусная-вода (4:1:5) и 2-пропанол-кислота муравьиная-вода (2:5:5). Установлено наличие рутина в *Lamium album*, *L. purpureum*, *L. maculatum*, *Glechoma hederacea*,

Urtica dioica; хлорогеновой кислоты – в *L. album*, *L. purpureum*, *L. maculatum*, *L. galeobdolon*, *G. hederacea*, *U. dioica*; цинарозиды – в *L. purpureum* и *G. hederacea*. Таким образом показано, что методом тонкослойной хроматографии, применяя указанные системы растворителей, возможно однозначно различать исследованные виды рода *Lamium* и примесные к ним виды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маевский, П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11 изд. / П. Ф. Маевский. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 635 с.
2. Повидыш, М. Н. Фармакогностическое изучение зеленчука желтого – *Galeobdolon luteum*: автореф. дис. ... канд. фармац. наук: 15.00.02 / М. Н. Повидыш; СПХФА. – Санкт-Петербург, 2006. – 24 с.
3. Петухова, Н. М. Комплексная технология препаратов на основе травы яснотки белой и яснотки пурпурной: автореф. дис. ... канд. фармац. наук: 15.00.01 / Н. М. Петухова; СПХФА. – Санкт-Петербург, 2009. – 29 с.
4. Березина, В. С. Фармакогностическое изучение видов рода *Lamium* L.: автореф. дис. ... канд. фармац. наук: 15.00.02 / В. С. Березина; СПХФА. – Санкт-Петербург, 2003. – 23 с.
5. Дослідження фенолкарбонових та гідроксикоричних кислот трави глухої кропиви пурпурової [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dspace.nuph.edu.ua/bitstream/123456789/11650/1/88%281%29.pdf>. – Дата доступа: 21.04.2023.

Поступила в редакцию 10.05.2023 г.

БОТАНИЧЕСКИЕ КОЛЛЕКЦИИ BOTANICAL COLLECTIONS

УДК 582. 261(476)

А. А. СВИРИД, В. Н. КАВЦЕВИЧ

КОЛЛЕКЦИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗЕР БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

*Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь,
e-mail: sviridanna.61@mail.ru, e-mail: kavtsevich@yandex.ru*

Аннотация. Коллекция диатомовых водорослей содержит более 750 проб, 260 постоянных препаратов, микрофотографии и негативы фотопленок, представляющих 400 видов и внутривидовых таксонов, 3 из которых занесены в Красную книгу Республики Беларусь. Пробы фитопланктона, перифитона и микрофитобентоса собраны в период с 1989 по 1991 гг. Число видов в пробе колеблется от 10 до 100 и более. Рассмотрены особенности сбора диатомовых водорослей.

Ключевые слова: озеро, коллекция, диатомовые водоросли, методика сбора, фитопланктон, перифитон, микрофитобентос.

A. A. SVIRID, V. N. KAVTSEVICH

COLLECTION OF DIATOMS ALGAE FROM THE BEREZINSKY BIOSPHERIC RESERVE LAKES

*Belarusian State Pedagogic University named after Maxim Tank, Minsk, Belarus,
e-mail: sviridanna.61@mail.ru, e-mail: kavtsevich@yandex.ru*

Annotation. The collection of diatoms algae contains more than 750 samples, 260 permanent preparations, micrographs and negatives of photographic films representing 400 species and intraspecific taxa, 3 of which are included in the Red Book of Belarus Republic. Samples of phytoplankton, periphyton and microphytobenthos were collected in the period from 1989 to 1991. The number of species in a sample ranges from 10 to 100 or more. The features of the collection of diatoms are considered.

Keywords: lake, collection, diatoms algae, method for collecting, phytoplankton, periphyton, microphytobenthos.

ВВЕДЕНИЕ

Одноклеточные и колониальные диатомовые водоросли чрезвычайно разнообразны, широко распространены в разнотипных водоемах и водотоках, живут в разных экологических условиях, составляют основу рациона многих водных обитателей. Благодаря кремнеземным панцирям, которые хорошо сохраняются в осадках, могут использоваться для восстановления условий в период их обитания. Материалом для флористического и гидробиологического изучения диатомей являются альгологические пробы, сохранение

которых представляет самостоятельную научную ценность в форме коллекции. Коллекцией могут пользоваться исследователи, минуя трудоемкий процесс сбора водорослей в водоемах.

Диатомовые водоросли в 6 озерах (Палик, Ольшица, Плавно, Манец, Домжерицкое, Пострежское) Березинского биосферного заповедника (ББЗ) изучались нами на протяжении многих лет, начиная с 1988 г. Получены данные по видовому богатству этой таксономической группы, сезонной динамике в фитопланктоне, перифи-

тоне и микрофитобентосе, выявлены массовые, «активные», редкие виды, проанализированы пространственно-временные закономерности распределения комплексов диатомовых водорослей в разнотипных озерах ББЗ, оценено качество воды. Численность видов в пробе оценивалась как по баллам обилия, так и по процентному содержанию створок каждого вида в выборке из 500 подряд подсчитанных по горизонтальному ряду в средней части препарата [1, 2]. Результаты опубликованы в статьях, тезисах докладов международных и республиканских конференций, обобщены в диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.05 – ботаника [3–12 и др.]. Исходным объектом для исследования диатомовых

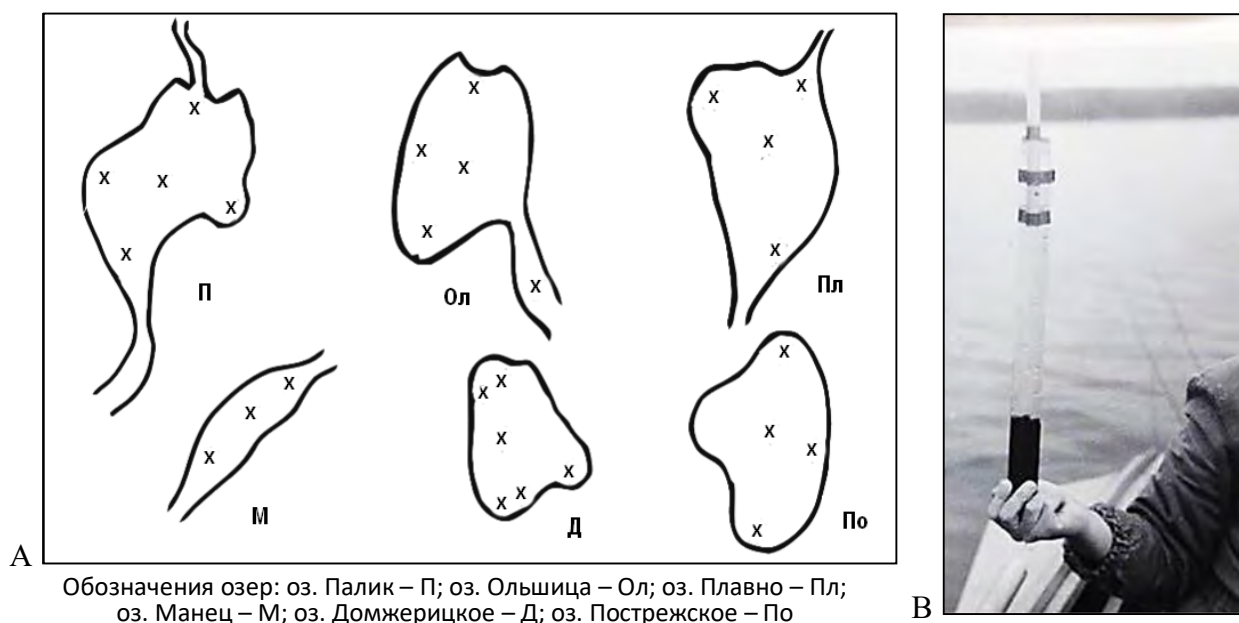
водорослей являлись альгологические пробы, которые отбирались с февраля по октябрь 1–2 раза в месяц (в оз. Домжерицкое – подекадно) в 1989 г., не реже одного раза в месяц – в 1990 г., а также в феврале 1991 г. (оз. Домжерицкое). Полевые исследования проводились совместно с научным сотрудником Березинского биосферного заповедника В.М. Натаровым, за что автор благодарен лично ему и руководству Березинского биосферного заповедника.

Цель данной публикации – сообщение о коллекции диатомей из озер Березинского биосферного заповедника. Задача – раскрытие методических приемов сбора и обработки проб для возможных направлений их исследования.

ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ СБОРА И ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКЦИИ

Станции взятия проб в озерах располагались так, чтобы охватить места с разными экологическими условиями: одна станция, как правило, находилась в центральной части озера, которая свободна от макрофитов (в оз. Манец их заросли занимали практически всю акваторию) и 1–3 станции в прибрежной зоне в зависимости от рельефа дна, изменения фаций осадков и растительных ассоциаций. Для возможно более полного выявления альгофлоры пробы эпизодически отбирались и в других характерных биотопах. Каждая проба отбиралась в однородном местообитании при относительно гомогенных условиях среды (рис. 1, А).

Одновременно измерялись прозрачность с помощью диска Секки, температура поверхностного и придонного слоев воды, отмечались погодные условия, степень волнения и состояние поверхности озер в соответствии с имеющимися рекомендациями [13]. Отбиралась вода для определения в лаборатории ББЗ рН на рН-метре и общей минерализации по гальванической активности с помощью прибора, сконструированного Б. И. Якушевым [14]. В октябре 1989 г. были взяты пробы воды на химический анализ, который выполнила в лаборатории мониторинга водных ресурсов БГУ З. К. Карташевич [15].



Обозначения озер: оз. Палик – П; оз. Ольшица – Ол; оз. Плавно – Пл; оз. Манец – М; оз. Домжерицкое – Д; оз. Пострежское – По

Рис 1. Схема расположения станций (x) на озерах ББЗ (А) и облегченный штанговый трубчатый дночерпатель (В)

Fig 1. Location scheme of stations (x) on the Berezinsky Biosphere Reserve lakes (A) and a lightweight tubular rod grab (B)

На каждой станции отбирались минимум 4 пробы:

- фитопланктон объемом 0,5 л с последующим концентрированием осадочным методом для количественного учета;

- фитопланктон методом фильтрования воды через коническую планктонную сеть из мельничного сита N 76 для качественного изучения видового состава;

- перифитон – обрастания в виде пленок или налетов с поверхности погруженных в воду частей растений, камней, древесины или иных субстратов (при массовом развитии нескольких видов макрофитов в местах сбора проб, перифитон собирали с каждого вида в отдельную пробу);

- микрофитобентос – поверхностный слой донных грунтов и отложений глубиной до 1 см вместе с придонным слоем воды толщиной 2–3 см.

Подробно методы сбора, концентрирования, фиксации, хранения альгологических проб изложены в специальной литературе [16–19 и др.]. Отметим некоторые использованные нами приемы. В связи с мелководностью озер и хорошим перемешиванием их водной массы, фитопланктон отбирали с поверхностных слоев воды, зачерпывая ее в объеме 0,5 л мерным стаканом. Стебли гидрофитов длиной около 0,4–0,5 м доставали грабелями либо под водой срезали ножницами [20]. Растения осторожно помещали в полиэтиленовый пакет с небольшим количеством озерной воды и фиксировали. В лаборатории с помощью кисточек и взбалтыванием тщательно смывали обрастания и переливали в бутылки для отстаивания. С поверхности вынутых из воды камней и затонувшей древесины налет соскребали на месте сбора с помощью ножа, ложки и смывали кисточкой над широкогорлым сосудом. Микрофитобентос на песчаных мелководьях озер собирали без специальных приспособлений, зачерпывая со дна верхний слой песка или иного субстрата бутылочкой с широким горлом, прикрывая его ладонью при подъеме на поверхность воды. В 1989 г. на больших глубинах в местах с илистым дном бентос собирали, находясь в лодке, с помощью микробентометра К.С. Владимировой [19]. С 1990 г. использовали облегченный штанговый трубчатый дночерпатель, изготовленный по нашей просьбе в мастерских Государственного научного центра (Арктический и Антарктический НИИ) в Санкт-Петербурге. Главная часть прибора – прозрачная трубка из оргстекла высотой 40 см с внутренним диаметром 3 см (рис. 1, В). Трубка закрепляется специальными зажимами на алюминиевой штанге. На штанге в том месте, где находится верхний край трубки, укреплен тонкая крышечка, которая

снизу покрыта в качестве прокладки специальной медицинской резиной, обеспечивающей при подъеме прибора из воды полную герметичность. При опускании дночерпателя крышечка, благодаря своей легкости, поднимается. Вода совершенно свободно проходит через трубку, которая погружается в грунт, не нарушая его целостности. При извлечении прибора крышечка обратным током воды плотно прижимается к трубке. Нижнее отверстие трубки при этом закрывалось под поверхностью воды специальной пробкой и таким образом получали ненарушенные образцы грунта. Избыток придонной воды осторожно сливали, чуть наклоняя трубку. Для предотвращения потерь микрофитобентоса оставлялся придонный слой воды толщиной около 5 см и взмучивался верхний слой грунта (на тонких илах не более 3 мм, на песчаных грунтах – 1,5 см). Взвесь сразу же сливалась в бутылочки из темного стекла [19]. Фиксировались пробы йодным фиксатором Утермеля в модификации Г. В. Кузьмина [16]. После отстаивания, часть пробы подвергалась технической обработке для диатомового анализа, а оставшаяся – сохранялась с последующим добавлением формальдегида. Эта часть пробы содержит группировку микроводорослей разных отделов и цианобактерий, называемую «цианобактериально-водорослевым ценозом» [21].

Техническая обработка проб и изготовление постоянных препаратов для световой микроскопии (СМ) выполнялись по одной из общепринятых методик [1]. Удаление из пробы нерастворимых солей кальция проводилось с помощью 10% HCl, а сжигание органического вещества – кипячением в концентрированной серной кислоте с добавлением нитрата калия для полного окисления органического вещества и обесцвечивания осадка [1]. Полученные осадки из створок диатомей повторным центрифугированием в дистиллированной воде тщательно отмывали от серной кислоты и переливали в «пенициллиновую» бутылочку. Из суспензии изготавливали постоянные препараты. В качестве твердой среды, в которую заключались кремневые оболочки диатомей, использовалась анилинформальдегидная смола (показатель преломления 1,68), синтезированная нами в химической лаборатории Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка по методике А. А. Эльешева [1]. Оставшаяся суспензия постепенно подсыхала, и в бутылочках оставался диатомовый порошок (освобожденные от органического вещества панцири и створки).

Для светового микроскопа были изготовлены постоянные препараты, которые затем изучались

под СМ МБИ-3 или под микроскопом Amplival (CarlZeiss) с использованием иммерсионных объективов апохромат 100 х / 1,32 или 90 х / 1,25 (окуляры РК 10 или РК 7). Одновременно проводили фотографирование створок водорослей с помощью микрофотонасадки МФН-12, получив в результате более 2000 негативов. Всего проиллюстрировано 249 видов. На сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JSM-35С японской фирмы «JEOL» в Институте геологических наук НАН Беларуси под руководством доктора биологических наук Г. К. Хурсевич изучено 11 препаратов и получено 270 негативов и фотографий видов и их сообществ.

Коллекция диатомовых водорослей из озер ББЗ, использованная при выполнении исследования диатомовых водорослей в указанный выше временной отрезок, включает по 252 «пенициллиновые» бутылочки с фиксированными и обработанными пробами («диатомовый порошок») и 260 изготовленных постоянных препаратов для световой микроскопии, фотопленки с изображениями видов в СМ и СЭМ [8]. Пробы осадочного планктона, использованные для количественных характеристик фитопланктона, к настоящему времени сохранились частично.

В одной пробе на основе изучения постоянных препаратов диатомовых водорослей идентифицировано от 10 до 130 видов. Общий систематический список выявленной флоры диатомовых водорослей озер ББЗ, включающий 306 видов (400 видов и внутривидовых таксонов), приведен в таксономическом каталоге «Альгофлора Беларуси» Т. М. Михеевой [22]. Среди них 20,4% (32 таксона) от общего числа редких для республики видов диатомовых водорослей [8, 22]. Род *Stenopterobia*, 46 видов и 7 разновидностей диатомей впервые указываются для альгофлоры Беларуси, 3 вида включены в Красную книгу Республики Беларусь [8, 22, 23].

Необходимо отметить, что кроме этой коллекции имеется большой объем проб (не менее 500), каждая в двух бутылочках (с исходным только фиксированным альгологическим материалом и технически обработанным для диатомового анализа), собранных по указанным выше методикам и в тот же период времени. Частично эти пробы были использованы в учебных целях на кафедре общей биологии и ботаники БГПУ, но сохранились в хорошем состоянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, весь имеющийся коллекционный фонд (в общей сложности более 750 альгологических проб) из озер ББЗ содержит богатый и разнообразный материал, интересный как для изучения флористики, синтаксономии, так и систематики, экологии, географии, охраны окружающей среды, а также получения информации в историческом аспекте, спустя более четверти века с момента сбора. В настоящее время проис-

ходит переоценка систематических признаков и критериев, идет описание новых видов, пересматривается положение уже известных таксонов, в связи с чем обращение к исходным фактическим данным является необходимым элементом исследования. Для эффективного использования коллекция требует создания компьютерной базы данных, качественного оформления, дальнейшего сохранения и изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Под ред. А. И. Прошкиной-Лавренко. – Т. 1. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. – 403 с.
2. Давыдова, Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий в голоцене / Н. Н. Давыдова. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 244 с.
3. Свирид, А. А. Диатомовая флора дистрофного озера Пострежское (Березинский биосферный заповедник) / А. А. Свирид // Ботан. журн. – 1995. – Т. 80, № 8. – С. 43–49.
4. Свирид, А. А. Структурные особенности диатомовых комплексов из поверхностного слоя донных отложений озер Березинского биосферного заповедника / А. А. Свирид // Актуальные проблемы прыродазнаўства: Матэрыялы юбілейн. навук. канф., прысвеч. 25-годдзю фак. прыродазнаўства, Мінск, 2–4 крас. 1996 г. / М-ва адукацыі і навукі Рэсп. Беларусь. Беларус. дзярж. пед. ун-т імя М. Танка; Рэдкал. С. В. Кабяк, А. Р. Александровіч (адк. рэд.) [і інш.] – Мінск : БДПУ імя М.Танка, 1997. – С. 141–149.
5. Свирид, А. А. Редкие виды диатомовых водорослей во флоре озер Березинского биосферного заповедника / А. А. Свирид // Итоги и перспективы гидроэкологических исследований: материалы междунар. науч. конф., Минск, 25–26 ноября 1999 г. / Белорус. гос. ун-т., биол. факультет, каф. общей экологии и методики преподавания биологии. – Минск: БГУ, 1999. – С. 210–216.
6. Свирид, А. А. Оценка качества воды озер Березинского заповедника по данным диатомового анализа / А. А. Свирид // Озера Белорусского Поозерья: современное состояние, проблемы использования и охраны: материалы

междунар. науч. конф., Витебск, 23–25 ноября 1999 г. / М-во образования Респ. Беларусь. Витеб. гос. ун-т им. П. М. Машерова – Витебск, 1999. – С. 160–161.

7. Свирид, А. А. Роль диатомовых водорослей в фитопланктоне озер Березинского биосферного заповедника / А. А. Свирид, В. М. Самойленко // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. междунар. науч. конф., Минск – Нарочь, 20–25 сент. 1999 г. / Белорус. гос. ун-т. – Минск: БГУ, 1999. – С. 150–151.

8. Свирид, А. А. Диатомовые водоросли озер Березинского биосферного заповедника: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / А. А. Свирид; Ин-т экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск, 2000. – 20 с.

9. Свирид, А. А. Таксономический состав диатомовой флоры озер Березинского биосферного заповедника / А. А. Свирид // Обогащение и сохранение генофонда на основе повышения биологического потенциала растительных ресурсов: Сб. науч. тр. / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка; редкол.: И. Э. Бученков (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГПУ, 2000. – С. 82–89.

10. Свирид, А. А. Таксономическая структура диатомовой флоры озер Березинского заповедника / А. А. Свирид // Современные проблемы естествознания: Сб. науч. ст. – Минск: БГПУ им. М. Танка, 2001. – С. 66–71.

11. Свирид, А. А. Таксономический состав флоры диатомовых водорослей озер Березинского биосферного заповедника и других озер хвойно-лесной зоны Восточной Европы / А. А. Свирид // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы II-ой междунар. науч. конф., Минск – Нарочь, 22–26 сент. 2003 г. / Белорус. гос. ун-т, Биол. фак., Учеб. науч. центр «Нароч. биол. станция», Науч.-исслед. лаб. гидроэкологии. Межведомств. центр проблем нац. парков и заповедников, Нац. парк «Нарочанский»; сост. и общ. ред. Т. М. Михеевой. – Мн.: БГУ, 2003. – С. 352–355.

12. Свирид, А. А. Диатомовые водоросли озер Палик и Пострежское (Березинский заповедник) / А. А. Свирид. – Мн.: Вестник БГПУ, 2006, №1 сер. 3. – С. 41–47.

13. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Вып. 7. – Ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 476 с.

14. Якушев, Б. И. Способ определения солевого режима почв по их гальванической активности / Б. И. Якушев // Авторское свидетельство от 26 апреля 1988 г. № 3830566. – Минск, 1985.

15. Свирид, А. А. Структура диатомовых комплексов наилка в связи с некоторыми гидрохимическими характеристиками озер ББЗ / А. А. Свирид, З. К. Карташевич // Антропогенная динамика ландшафтов и проблемы сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия: материалы II-ой респ. науч.-практ. конф., Минск, 1–2 дек. 2004 г. – Мн.: БГПУ, 2004. – С. 80–81.

16. Кузьмин, Г. В. Видовой составы и обилие / Г. В. Кузьмин // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – С. 73–87.

17. Михеева, Т. М. Методы количественного учета нанофитопланктона (обзор) / Т. М. Михеева // Гидробиол. журн. 1989. Т. 25, № 4. С. 3–22.

18. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. – Киев: Наук.думка, 1989. – 608 с.

19. Девяткин, В. Г. Микрофитобентос / В. Г. Девяткин // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – С. 108–116.

20. Макаревич, Т. А. Эпифитон / Т. А. Макаревич // Экологическая система Нарочанских озер / Под ред. Г. Г. Винберга. – Минск: Изд-во БГУ, 1985. – С. 48–72.

21. Абдуллин, Ш. Р. Синтаксономия цианобактериально-водорослевых ценозов пещер России и некоторых сопредельных государств / Ш. Р. Абдуллин, Б. М. Миркин // Растительность России. – № 27. – СПб., 2015. – С. 3–23.

22. Михеева, Т. М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог / Т. М. Михеева. – Минск: БГУ, 1999. – 396 с.

23. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений // Под ред. И. М. Качановского [и др.]. Минск: БелЭн, 2015. – 448 с.

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

БОТАНИЧЕСКИЕ НАХОДКИ BOTANICAL DISCOVERIES

УДК 582.572 (476)

Д. В. ДУБОВИК, С. С. САВЧУК, А. Н. СКУРАТОВИЧ, В. Н. ЛЕБЕДЬКО

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ К РАСПРОСТРАНЕНИЮ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ ВИДОВ И ГИБРИДОВ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ БЕЛАРУСИ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: vladmir.flora@yandex.by*

Аннотация. Приведены данные о новых и редких для флоры Беларуси адвентивных и аборигенных видах сосудистых растений. Многие новые местонахождения видов приведены для относительно слабо изученных во флористическом отношении административных районов Беларуси. Указаны также новые для флоры республики таксоны (*Rheum australe*, *Hypericum* × *desetangsii*, *Aconogonon* × *fennicum*, *Persicaria* × *intercedens*) и др.

Ключевые слова: флора, редкие виды растений, адвентивные растения, новые таксоны.

D. V. DUBOVİK, S. S. SAVCHUK, A. N. SKURATOVICH, V. N. LEBEDKO

NEW MATERIALS FOR THE DISTRIBUTION OF SOME RARE SPECIES AND HYBRIDS OF VASCULAR PLANTS IN BELARUS

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,
e-mail: vladmir.flora@yandex.by*

Annotation. The data on adventive and aboriginal species of vascular plants, new to the flora of Belarus, are given. Many new species localities are given for relatively poorly studied floristically administrative regions of Belarus. Taxa new to the flora of Belarus also indicated (*Rheum australe*, *Hypericum* × *desetangsii*, *Aconogonon* × *fennicum*, *Persicaria* × *intercedens* etc.)

Keywords: flora, rare plant species, adventive plants, new taxa.

ВВЕДЕНИЕ

В публикации мы продолжаем обобщение результатов полевых флористических исследований авторов и коллег биологов за последние годы, а также представляем результаты критического изучения коллекций Гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK). Приводятся местонахождения некоторых редких и охраняемых видов растений в пределах страны и данные о новых для Беларуси таксонах, которые обнаружены в качестве аборигенных,

культивируемых и заносных. Некоторые новые местонахождения видов сосудистых растений приведены для относительно слабо изученных во флористическом отношении административных районов Беларуси. Данная информация, дополняющая известные сведения о распространении в стране и частоте встречаемости некоторых редких видов растений, весьма актуальна для готовящихся к изданию томов «Флоры Беларуси» и других аналогичных изданий.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились традиционным маршрутным методом по всей территории Беларуси. Перечень видов дается согласно Определителю высших растений Беларуси [1]. Номенклатура таксонов принята по электронной базе данных Миссурийского ботанического сада «Тропи-

cos» [2], частично с некоторыми изменениями, которые опубликованы в недавнее время в различных научных изданиях. Все гербарные сборы приведенных в статье видов хранятся в Гербарии ИЭБ НАН Беларуси (MSK – V). За редким исключением виды приведены на основании личных наблюдений авторов или их коллег.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Далее приводятся конкретные местонахождения выявленных в республике видов сосудистых растений с краткой аннотацией и критическими замечаниями к ним, если это необходимо.

***Arum maculatum* L.** Вид изредка выращивается как декоративное растение. Отмечено успешное дичание в ЦБС НАН Беларуси в г. Минске, по пустошам и под кустами боярышника вблизи центрального партера, Д. Дубовик, С. Савчук, 27.03.2023. До этого вид приводился на сайте iNaturalist, однако гербарных сборов из этого локалитета авторы не видели. Факты натурализации вида до этого не отмечены.

***Galanthus woronowii* Lisinsk.** Вид редко выращивается как декоративное растение. Отмечено его дичание в ЦБС НАН Беларуси в г. Минске, под деревьями вблизи центрального партера, у участка декоративных многолетников, изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, 27.03.2023. Факты натурализации вида до этого не отмечены.

***Aconogonon* × *fennicum* Reiersen (*A. alpinum* (All.) Schur × *A. weyrichi* (F. Schmidt.) H. Nara).** Редкий гибрид, который стал в последние годы разводиться в качестве декоративного растения. Он обычно завязывает единичные, плоды, которые в отличие от *A. weyrichi* более мелкие, 4–5 мм дл. (не 5–6 мм), самые верхние листья ланцетные, яйцевидно-ланцетные. В Беларуси известен из 2 локалитетов: Брестский р-н, г. Брест (б.д. Мощенка), выращивается как декоративное, Д. Дубовик, С. Савчук, Н. Вахний, 09.10.2019; Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 2020.

***Persicaria dubia* (Stein ex A. Br.) Fourr. (*P. mitis* (Schrank) Opiz ex Assen., non Delarbre)** – Хойникский р-н, д. Борисовщина, в старом парке, у дорожки, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 14.09.2022. Вид изредка встречается в западных и южных районах, данное местонахождение одно из самых восточных в стране.

***Persicaria* × *intercedens* (Beck) Soják (*P. hydropteris* (L.) Delarbre × *P. maculosa* S. F. Gray).** Листочки оберток в нижней части с железками как у *P. hydropteris*, но влагалища листьев сверху

со щетинками как у *P. maculosa*, соцветие тонкое, рыхлое, прерывистое, поникающее, листочки околоцветника красноватые, пятна на листьях обычно не выражены, или слабо заметны, плодики б.м. тупые на верхушке, с одной стороны уплощенные с другой выпуклые (но не ребристые как у *P. hydropteris*), реже трехгранные. Часть плодов дефективные или слабо развиты. Особенно часто гибрид регистрируется по нарушенным местообитаниям – свалки мусора, стоковые каналы, пустоши.

По гербарным данным известен из следующих местонахождений: г. Гродно, вблизи ж.д. станции Полесский парк, к В, стоковая яма, Д. Третьяков, Я. Гузик, 06.09.2022; окр. г. Минск, около 3 км к ЮВ, вблизи д. Тростенец, на городской свалке мусора, Г. Вынаев, Д. Третьяков, Л. Мержвинский, 27.09.1982; окр. г. Минск, 2,5 км к ССР от д. Цнянка, на городской свалке мусора, Д. Третьяков, 24.09.1998; окр. г. Минск, к Ю от кольцевой дороги, на городской свалке мусора, сорные места, Д. Третьяков, 18.08.1994; там же, Д. Третьяков, 22.09.1992; г. Минск, ул. Харьковская, у д. 74, Л. Симонович, 25.09.1996; г. Минск, ул. Захарова, автобусная остановка, почвенно-грунтовые обнажения в зазоре между бетонными плитами, Г. Вынаев, 13.08.2005; г. Гомель, ул. Подгорная, вдоль забора, единично, Д. Третьяков, 07.09.1985; Кореличский р-н, г. Кореличи, ул. 8-го Марта, пруд Быкова, по берегу пруда, у сточной канавы, Д. Третьяков, 14.07.2010; Ушачский р-н, окр. д. Дубровка, вблизи д. Ягодки, котловина оз. Кривое, СЗ берег, переходное болото, по берегу озера, Г. Вынаев, В. Побирушко, Л. Мержвинский, 16.07.1985; Дрогичинский р-н, окр. д. Семовщина, у С окраины, городской полигон ТБО, Д. Дубовик, С. Савчук, 05.10.2022; Ельский р-н, окр. д. Вишенки, 0,7 км к С, полигон ТБО, Д. Дубовик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 13.09.2022; Мядельский р-н, окр. д. Наносы, 2 км к З, сырая луговина у дороги на краю черноольшаника, среди травы, Г. Вынаев, И. Вынаева, 15.08.1986.

***Persicaria microcephala* (D. Don) H. Gross.** Декоративный вид, который стал популярен у цветоводов-любителей с 2009 г. Это довольно

высокое растение до 60 см выс. с яйцевидно-треугольными листьями. Околоцветник беловатый или розоватый, соцветие рыхло-головчато щитковидное. Листья от коричнево-бурых до зеленовато-бурых, верхние у основания нередко лировидные. Особенно популярен его культивар 'Red Dragon' с буровато-зелеными многоцветными листьями, по центру с более темным пятном, которое окаймлено более светло-зелеными участками листа.

К настоящему времени вид известен в культуре в гг. Гомель, Речица, Бобруйск, Брест, Волковыск, Жабинка, Витебск, Кобрин, Молодечно, Береза, Новогрудок, Столин, Слуцк, Миоры, д. Поклады Кричевского р-на, д. Дещенка Узденского р-на, п. Барановичи Гродненского р-на, д. Волосовичи Кировского р-на, д. Росский Селец Оршанского р-на.

***Persicaria × pseudolapathifolium* (Schur) D.H. Kent. (*P. lapathifolia* (L.) Delarbre × *P. maculosa*).** Влагалища листьев хотя бы сверху со щетинками, щетинки редкие или расположены по всей поверхности, на конце влагалища с редкими щетинковидными окончаниями, как у *P. maculosa*, часто растения с железками на цветоножках и околоцветниках, орешки б.м. плоские или вдавленные с двух сторон, иногда слегка выпуклые с одной стороны, соцветия довольно плотные, розовые или розовато-зеленоватые, не прерывистые, плоды частично недоразвиты, листья снизу часто с б.м. развитым войлочным опушением.

Данный гибрид по гербарным данным известен из следующих локалитетов: Житковичский р-н, окр. д. Хвоенск, 1,3 км к СЗ, правобережье р. Ствига у её устья, по речной отмели, Д. Дубовик, 15.09.2022; Чериковский р-н, окр. г. Чериков, 0,5 км к В, левобережная пойма р. Сож, немного ниже моста через реку, у насыпи дороги в пойме, по сырым почвенным обнажениям, Д. Дубовик, 09.09.1991; Мядельский р-н, окр. д. Корки, 2,5 км к Ю, берег оз. Свирь, пустошный сыроватый луг у озера, изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, 23.07.2011; Оршанский р-н, окр. г. Орша, 0,6 км к В, левобережье р. Днепр, у дороги в субори мшисто-кисличной, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, В. Лебедько, 24.08.2022; Минский р-н, окр. д. Ждановичи, Заславское водохранилище, берег водохранилища, Г. Вынаев, 18.08.1976.

***Persicaria virginiana* (L.) Gaertner.** Декоративный вид, который стал популярен у цветоводов-любителей с 2010 г. Растения до 60–100 см выс. Листья яйцевидные, крупные, зеленые с пестрым рисунком из буроватых и желтоватых пятен, соцветия длинные, колосовидные, листочки околоцветника от зеленоватых до красноватых. Чаще выращивается культивар 'Painter's Palette'

К настоящему времени вид известен в культуре в гг. Гомель, Витебск, Гродно, Пружаны, Брест, Сморгонь, Кобрин, Столбцы, Бобруйск, Слуцк, Миоры, г.п. Хотимск, г.п. Телеханы Ивацевичского р-на, д. Волосовичи Кировского р-на, д. Черемушки Могилевского р-на.

***Rumex acetosa* L. × *R. thyrsiflorus* Fingerh.** Данный гибрид встречается в Беларуси довольно редко и до настоящего времени не указывался. Родительские виды являются довольно обычными растениями и иногда контактируют в схожих по экологическим требованиям условиях (сыроватые луга, опушки влажных или сырых лесов, обочины лесных дорог), где могут гибридизировать между собой. *Rumex acetosa* более влаголюбивый вид и чаще приурочен к влажным и сырым местообитаниям, нередко с притенением. *R. thyrsiflorus* обычно растет по открытым, чаще б.м. сухим лугам, полянам, опушкам, склонам. У гибридных особей листья наиболее широкие часто вблизи середины, а не у основания как у *R. thyrsiflorus*, или частично с дуговидными, частично с почти параллельными краями, соцветия узкие, нижние веточки соцветия не ветвистые или с несколькими веточками (как у *R. acetosa*), плоды завязываются часто слабо, черешки и листья б.м. мелко опушенные (не слегка опушенные снизу листа и по его краю как у *R. acetosa*), иногда с коротким опушением и стебли, корневище сверху слегка утолщенное, от почти вертикального до косоого.

По гербарным данным подобные гибриды отмечены в следующих локалитетах: Глубокский р-н, окр. г. Глубокое, вблизи д. Шайторовка, урочище «Буда», заросли серой ольхи на болотистом лугу, Н. Козловская, С. Лапковская, 05.07.1958; Ивацевичский р-н, окр. д. Любищецы, разнотравно-овсянищевый луг в пойме р. Гривды, возле шоссе, Л. Симонович, 23.06.1974; Свислочский р-н, окр. д. Ощеп, у лесничества, 0,5 км к В, пойма р. Нарев, центральная часть, злаково-осоковый пойменный луг, Л. Симонович, 19.06.1985; Житковичский р-н, окр. д. Хлупин, 3,5 км к С, левый берег р. Припять, вблизи кв. 1 Переровского л-ва, пойменная дубрава, Г. Вынаев, 02.05.1985; Брестский р-н, окр. д. Томашовка, 6 км к ЮЮВ, правобережье р. Западный Буг, небольшой фрагмент луга в притеррасной части поймы, Д. Третьяков, 11.06.1994; Каменецкий р-н, окр. д. Кустичи, 1 км к В, вблизи черноольшаника, травяные закустаренные места, Д. Третьяков, 29.05.1996; Молодечненский р-н, окр. г. Молодечно, 0,9 км к С, у дороги в сосняке мшисто-черничном, изредка, Дубовик Д. В., Савчук С. С. Лебедько В. Н., 25.07.2022.

***Rumex × knekii* Rech. (*R. crispus* L. × *R. obtusifolius* L.).** Стебли нередко буровато-фиолетовые. Листья удлинненно-яйцевидные, по краю заметно курчавые, у основания от обрубленных до широко-клиновидных. Плоды частично недоразвиты. Листочки околоцветника по краю с заметными зубчиками. Впервые гибрид собран в Беларуси в г. Слоним (1825 г.) С. Горским (W1). Затем отмечен в Докшицком р-не, окр. д. Бабцы, придорожная полоса отчуждения, разнотравно-злаковый травостой, Л. Симонович, 21.07.1981; а также в г. Горки, СВ окраина, вблизи учебно-опытного поля БГСХА, травяной склон оврага, Д. Третьяков, 11.07.2007.

Довольно редкий гибрид, встречающийся в местах совместного произрастания обоих родительских видов.

***Rumex patientia* L.** Данный вид впервые был собран в Беларуси Н. Довнар в г. Могилеве (LE, MSK), где, возможно выращивался в качестве пищевого растения. Затем указан для ботанического сада в д. Бол. Летцы Витебского района [3]. В качестве адвентивного растения достоверно найден Г. Вынаевым и Д. Третьяковым в 1980 г. в г. Минске (ул. Кижеватова, вблизи д. Лошица, сухой остепненный и крутой склон к шоссе Минск-Слуцк). В культуре вид собран в 2000 г. Д. Третьяковым в д. Солоное Жлобинского р-на. В 2008 г. отмечен одичавшим на газонах в ЦБС НАН Беларуси. В 2022 г. нами при обследовании полигонов твердых бытовых отходов в Гомельской и Брестской областях удалось найти этот вид в Дрогичинском р-не (окр. д. Сёмоновщина, у С окраины, полигон ТБО, по кучам мусора, редко, Дубовик Д.В., Савчук С.С., 04.10.2022). Вегетирующее растение было отмечено также на полигоне в окр. д. Вишенки Ельского района, однако без плодов (Д. Дубовик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 13.09.2022).

Этот вид происходит из Южной и Западной Европы, но имеет очень обширный вторичный ареал во всей Европе, в последние годы стал распространяться по естественным и нарушенным местам в некоторых областях Средней России [4]. Его появление на полигонах бытовых отходов в Беларуси связано, вероятно, с выращиванием этого вида в качестве пищевого (салатного) растения на приусадебных участках. Семена этого щавеля в последние годы редко реализуются в торговой сети.

***Rumex × salicetorum* Rech. (*R. crispus* L. × *R. pseudonatronatus* (Borb.) Borb. ex Murb.).** Стебель красно-фиолетовый, соцветие узкое и удлиненное, листочки околоцветника при плодах тонкие, плоды на одном растении обычно с 1 желвачком, иногда несколькими не очень хорошо

выраженными. Полоцкий р-н, г. Полоцк, долина р. Западная Двина, между шоссе и мостом и Софийским собором, 12.07.1977, Г. Вынаев, Д. Третьяков, определила А. Бородин, 09.1979.

Редкий гибрид, который известен из Северной и Центральной Европы.

***Rumex sanguineus* L.** Данный таксон неоднократно указывался в литературе многими прежними авторами [5, 6 и др.] для флоры Беларуси (преимущественно в XIX в.), однако эти указания относятся, вероятно, к отдельным формам *R. obtusifolius*.

В последние годы (с 2010 г.) в качестве салатного и декоративного растения этот вид стал выращиваться садоводами-любителями. В культуре он впервые был собран нами в 2011 г. в д. Бояры Мядельского р-на (MSK). Позже собиравался или отмечался в культуре в гг. Гомель, Могилев, Гродно, Брест, Волковыск, Новогрудок, Слуцк, Кричев, Бобруйск, Новолукомль, Мосты, Смолевичи, в п. Цагельня Гомельского р-на, дд. Скоры и Помощье Мядельского р-на, д. Петришки Минского р-на, д. Шилин Березовского р-на, д. Солоное Жлобинского р-на, г.п. Бешенковичи, д. Волосовичи Кировского р-на.

Несомненно, ошибочно указан для Ляховичского р-на (окр. д. Кривошин), а также его гибриды с *R. obtusifolius* [7].

***Rumex × skofitzii* Blocki (*R. confertus* × *R. crispus* L.).** Это обычно мощное растение типа *R. crispus*, но стеблевые листья довольно узкие, с курчавым краем, снизу по жилкам с частыми и короткими волосками, метелка рыхлая и с курчавыми по краю листочками околоцветника, плоды созревают не регулярно, вызревшие имеют крупные закругленные желвачки как у *R. crispus*, но менее округлую верхушку прицветников, по сравнению с *R. confertus*.

Собран в окр. д. Придвинье Витебского р-на, у родника, Д. Третьяков, 06.07.1996; а также в окр. д. Узмены Верхнедвинского р-на, у Ю окраины дер., лесополоса из березы вдоль улицы, редко, Дубовик Д.В., Лебедько В.Н., 26.05.2022.

Гибрид встречается в Беларуси редко. Весьма примечательно, что данный нототаксон сформировался в результате гибридизации аборигенного и адвентивного (инвазионного) видов щавелей.

***Rheum australe* D. Don.** Гродненский р-н, д. Гожа, в культуре, В. et M. Konratowicz, 1902 (WA).

Очень редкий в культуре вид. Был известен в начале XX в., сейчас не отмечается. В литературе для Беларуси (кроме коллекций ботанических садов) он не упомянут.

***Hypericum × desetangii* Lamotte (*H. perforatum* L. × *H. maculatum* Crantz).** У данного гиб-

рида число хромосом $2n = 32, 40, 48 (24)$ [8]. *H. perforatum* является аллотетраплоидом, но выявлены ди-, три- и гексаплоиды [9]. Ранее высказывалось предположение, что *H. perforatum* может происходить от гибридизации *H. attenuatum* Fisch. ex Choisy и *H. maculatum* [9]. Затем было установлено, что он произошел, вероятно от диплоидных форм *H. perforatum* в ледниковых рефугиумах Южной Европы, которые там сохранились [10], а позже эволюционировал в результате полиплоидии. При этом он гибридизировал с *H. maculatum*, что видно из анализа его генотипа [11]. Гибридизация и интрогрессия *H. perforatum* с *H. maculatum* очень обычное и часто наблюдаемое явление в Европе [10].

У гибридов чашелистики (5) 6–7,5 мм дл., узко обратнояйцевидные или ланцетные, заостренные или острые (не тупые, как у *H. maculatum*, иногда с очень коротким остроконечием), по краю у верхушки с единичными зубцами или без них (у *H. perforatum* они почти до середины зубчатые), стебли б.м. четырехгранные, особенно в области соцветия (или 2 грани явные и две нечеткие), листья до 4 см дл., по краю обычно не отогнутые, лепестки с черными штрихами у края вверху, редко с одиночными штрихами и пятнышками ниже верхушки (у *H. perforatum* есть черные пятнышки обычно лишь по краю у верхушки, а у *H. maculatum* с пятнышками и штрихами по всей поверхности). Чашелистики с несколькими или более частыми черными пятнышками и штрихами, обычно с 3–5 жилками (у *H. perforatum* черных пятнышек обычно нет, четких жилок 1 и еще 2 мало заметные, а у *H. maculatum* пятнышки частые, жилок обычно 5), рыльца относительно короткие, 2–4 мм дл. (у *H. perforatum* рыльца более длинные 3–5,5 мм).

Вероятно, гибриды встречаются в Беларуси часто, но из-за возвратных скрещиваний с родительскими видами их признаки нередко перекрываются, поэтому растения с черными штрихами и пятнышками на лепестках по их центру и снаружи, или с одного края лепестка следует относить к подобным возвратным гибридам. У гибридов также нередко имеются прозрачные железки на листьях, но менее частые и нередко слабо просвечиваются, сизая окраска растений выражена слабо, соцветие относительно узкое или с небольшими веточками, направленными под острым углом, не раскидистое.

Ближайший нотовид (? или подвид) *H. dubium* Leers (*H. m.* subsp. *obtusiusculum* (Tourlet) Hayek) имеет листовки плодиков яйцевидные, тупые. Листья иногда с палевыми железками, чашелистики заметно зубчатые на верхушке, до 5,7 мм дл., широко или узкояйцевидные, лепестки черно-

полосатые, иногда с черными пятнышками, $2n=34$. Он является, вероятно, результатом возвратных скрещиваний *H. maculatum* с *H. Perforatum*, но по морфологическим признакам ближе соотносится с *H. maculatum*. В Беларуси этот морфотип более редок и известен лишь из бывшего совхоза «Даровка» в окр. г. Минска.

По гербарным данным гибриды зверобоев отмечены в следующих локалитетах: Лепельский р-н, окр. д. Домжерицы, 2 км к Ю, на залежи, С. Дмитриева, 17.05.1979; Верхнедвинский р-н, верховье р. Сарьянка, разнотравный луг на 1-ой террасе в окружении ольшаника, Н. Козловская, Е. Блудов, 28.07.1976; окр. г. Гродно, д. Пышки, Н. Козловская, 25.06.1965; Минский р-н, ст. Ждановичи, на краю лесной дороги, Л. Вяжевич, 08.07.1955; Дзержинский р-н, д. Бакиново, 1,5 км к Ю, опушка сосняка, Л. Полякова, 25.06.1951; Червенский р-н, д. Домовицк, на залежи, на межах, часто, фамилия неразб., 15.08.1928; Минский р-н, совх. Лошица, на лугу, Тьдман, 29.07.1929; Минский р-н, окр. д. Кохановщина, сосняк травяной – на полянке, Г. Захаренкова, 30.06.1967; Мядельский р-н, окр. оз. Нарочь, у дороги от озера в д. Черевки, Г. Захаренкова, 29.07.1965; Минский р-н, д. Гатово, откос ж.д. насыпи, поросший разнотравьем, Р. Блажевич, Л. Семеренко, 24.07.1997; Ивановский р-н, окр. г. Пинск, 25 км к ЮЗ, оз. Завищанское, сосняк с дубовым подлеском, Н. Козловская, С. Лапковская, 28.07.1962; Ивацевичский р-н, окр. д. Бобровичи, 3,9 км к В, ур. «Наливная гряда», сухая поляна в смешанном лесу, А. Мялик, 29.06.2014; Ивацевичский р-н, окр. д. Святая Воля, вблизи школы, во дворе школы, В. Михайловская, 18.06.1954; Брестский р-н, окр. д. Скоки, 1 км к СЗ, дубрава с грабом, березой, осинкой, ивой козьей, Е. Козел, А. Олешук, 1991; Малоритский р-н, окр. д. Доброе, ЮВ окраина, песчаные места с преобладанием *Corynephorus canescens*, С. Савчук, 27.06.2009; Ганцевичский р-н, окр. г. Ганцевичи, 1,5 км к З, Ганцевичская опытно-экспериментальная база «Журавинка», как сорное по дамбам на плантации клюквы американской, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, 18.09.2012; Барановичский р-н, окр. оз. Гать, обочина дороги, Ф. Ненадович, 13.07.1977; Буда-Кошелевский р-н, окр. д. Рогинь, 5 км к ЗЮЗ, кв. 18 Викторинского л-ва, дубрава с березой, сосной орляковая, Д. Третьяков, 11.07.1988; Лепельский р-н, Березинский заповедник, кв. 270, 0,5 км к ЮЗ от д. Ствольно, вблизи главной усадьбы заповедника, старая залежь, Л. Симонович, 26.07.1976; Лепельский р-н, Березинский заповедник, кв. 245а, 0,5 км к С от д. Рожно, поляна среди молодого соснового леса, Л. Симонович, 17.07.1976; Чериковский р-н, окр.

д. Журавель, 2 км к ССЗ, кв. 130 Чериковского л-ва, у дороги в сосново-березовом лесу, Д. Дубовик, 08.07.1989; Бобруйский р-н, окр. д. Продвино, к В, высокая боровая местность, В. Михайловская, 24.06.1931; Минский р-н, окр. д. Сухорукие, на залежи, С. Дмитриева, Л. Семеренко, 11.09.1975 (2п=32,48); г. Минск, совхоз «Даровка», сад, В. Михайловская, 03.07.1928, ранее образец определялся как *H. elegans*.

***Viola grypceras* A. Gray.** Редкий в культуре восточноазиатский вид с мраморным рисунком на листьях. В Беларуси эта фиалка стала выращиваться с 2013 г. (гг. Минск, Вилейка, Брест, Слуцк, Дзержинск, Смолевичи, д. Черемушки Могилевского р-на, окр. д. Петришки Минского р-на, г. п. Плещеницы Логойского р-на, д. Волосовичи Кировского р-на).

Представлена в культуре var. *exilis* (Miq.) Nakai (растения с простертыми или почти укореняющимися стеблями), культиварами 'Sylettas', 'Silver Samurai', 'Mars'. У цветоводов-любителей она иногда неверно отождествляется *V. coreana* Boissieu.

Растения с мраморным оттенком являются результатом селекции культивара 'Heartthrob' (это спорт культивара 'Mars', который в свою очередь произошел от *V. grypceras* f. *variegata* Nakai).

***Viola* × *palmata* L.** Данный таксон приводился нами ранее для флоры Беларуси [12] как новый. В последние годы он стал распространяться среди цветоводов-любителей (окр. д. Петришки Минского р-на, д. Домашаны Смолевичского р-на, окр. г. Гродно, д. Высокая Грива Поколюбичского с/с Гомельского р-на, г. Брест). С 2020 г. отмечен самосев на дачных участках в окр. д. Петришки Минского р-на, семена растений активно разносятся муравьями.

Предполагается её гибридное происхождение [13], таксон возможно произошел от *V. pedatifida* G. Don × *V. affinis* Leconte (или *V. sororia* Willd.).

***Brassica juncea* (L.) Czern.** Довольно редкий адвентивный вид, который встречается локально в разных частях страны. Дрогичинский р-н, окр. д. Сёмоновщина, у С окраины, полигон ТБО, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, 05.10.2022.

***Raphanus* × *micranthus* (Uechtr.) O.E. Schultz (*R. raphanistrum* L. × *R. sativus* L.).** Данный гибрид встречается, вероятно, нередко в местах совместного произрастания родительских видов. Гибриды первого поколения обычно промежуточны по форме листьев и характеристикам плодов, но имеют белые или бледновато-желтые лепестки (иногда лепестки белые с желтоватым основанием и желтыми жилками), плоды слабо ребристые (у *R. sativus* они не ребристые и почти без перетяжек), более толстые по сравнению с *R.*

raphanistrum (до 8–11 мм шир.), иногда плоды завязываются лишь частично.

Подобные гибриды отмечены нами по краю поля в окр. г. Рогачев (у З окраины), по краю поля у автозаправки, Д. Дубовик, А. Скуратович, 25.10.2005.

***Sedum hispanicum* L.** Вид близкий к *S. pallidum* Bieb., который встречается в Беларуси часто в культуре и нередко дичает, хорошо натурализуется. Отличается от *S. pallidum* тем, что является однолетником, не имеет стерильных побегов или эти побеги единичные, но не укореняющиеся, цветки (5) 6–7 (9) -мерные, не пятимерные. Был собран в г. Минске, ЦБС НАН Беларуси, сорное на участке редких и охраняемых растений, Д. Третьяков, 29.05.2002. В 2002 г. отмечены факты дичания вида в г. Миоры, где он выращивался на приусадебном участке, успешно дичает по пустошам у заборов, 27.05.2022, Д. Дубовик, В. Лебедько. В культуре также встречается в г.п. Бешенковичи и г. Мосты.

***Rubus armeniacus* Focke.** Очень редкий в культуре вид. Житковичский р-н, г. Туров, выращивается у жилья, привезен из Кавказа, А. Углянец, 10.07.2022.

***Celastrus scandens* L.** Вид довольно редко встречается в культуре и отмечаются факты его натурализации вблизи мест произрастания, однако недавно найден одичавшим в лесном массиве – Минский р-н, окр. д. Зацень 1,3 км к СЗ, дичает в лесу в нескольких местах, И. Вершицкая, 28.10.2020. Растения попали сюда, вероятно с мусором из ближайших коттеджных застроек.

***Viscum album* L.** Вид, который встречается в Беларуси на северной границе ареала. В последние годы отмечено прогрессивное распространение омелы в северном направлении из-за общего потепления климата. Найдена на окраине г. Минска, окр. д. Зацень, 0,7 км к З, у автозаправки вблизи кольцевой автодороги, на тополях, 2 экзemplара, Д. Дубовик, 30.03.2023.

***Scutellaria altissima* L.** Этот степной и лесостепной вид ранее был собран в Кобринском р-не, окр. д. Дивин, в кустарниках, 1822, С. Горский (W1). Возможно, в окр. д. Дивин он выращивался как лекарственное растение и затем одичал. Был известен также в ботаническом саду в г. Горки [14]. Нами собран в г. Минске, ЦБС НАН Беларуси, хорошо одичавший в лесопарковой зоне у свалки, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 07.09.2022. Здесь он сохраняется, по нашим наблюдениям, не менее 5 лет.

***Crepis rhoeadifolia* Bieb.** Достаточной редкий вид, который был известен в Беларуси из единич-

ных локалитетов [15], в последние годы отмечен в Ветковском районе Гомельской области [16].

Нами собран также в Гомельской области: Хойникский р-н, окр. д. Стреличево, 1,5 км к ССВ, песчано-гравийный карьер, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 14.09.2022.

Вероятно, наблюдается прогрессивное распространение этого термофильного вида в северном направлении, особенно по карьерам, пусто-

шам, вдоль дорог, что может быть связано отчасти и с общим потеплением климата.

***Leontodon saxatilis* Lam.** Очень редкий адвентивный вид, известный по гербарным данным (MSK) из г. Бреста и его окрестностей. Нами найден в Ивановском р-не, окр. д. Снитово, 1,2 км к ЮВ, городской полигон ТБО, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, 05.10.2022. Здесь же одичавшей отмечена и *Physostegia virginiana* (L.) Benth.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В аннотированном списке приведены данные о новых и редких для флоры Беларуси адвентивных (включая культивируемые) и аборигенных видах растений. Многие новые местонахождения видов приведены для относительно слабо

изученных во флористическом отношении административных районов Беларуси. Указаны также новые для флоры республики таксоны (*Rheum australe*, *Hypericum* × *desetangsii*, *Aconogonon* × *fennicum*, *Persicaria* × *intercedens*) и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определитель высших растений Беларуси / Т. А. Сауткина [и др.]; под ред. В.И. Парфенова. – Минск: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
2. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.tropicos.org>. – Date of access: 24.09.2019.
3. Index plantarum in horto Adamowiano Letce-Wielkie (Rossiae Occident. prov. Witebsk) crescentium nec circa eum partium in loco natali lectarum pro voluntaria reciproca permutatione. Offertis. – 1915. – 39 p.
4. Сухоруков, А. П. Дополнения к адвентивной флоре Средней России / А. П. Сухоруков, В. М. Васюков, М. А. Кушунина // Фиторазнообразии Восточной Европы. – 2015. – Т. IX, № 3. – С. 120–128.
5. Чоловский К. Физико-Географический очерк Могилевской губернии. Растения // Дембовецкий А.С. Опыт описания Могилевской губернии в историческом, физико-географическом, этнографическом, промышленном, сельско-хозяйственном, льсном, учебном, медицинском и статистическом отношении, с двумя картами губерний и 17 рзанными на дерево гравюрами видовъ и типовъ: В 3 кн. – Могилевъ на Днѣпръ: Типографія Губернскаго Правленія, 1882–1884. – Кн. 1. – 1882. – С. 266–452.
6. Fischer, A. F. C. Über die Vegetationsverhältnisse im südlichen und mittlern Lithauen, besonders des Sluzker-Kreises. Enumerationem plantarum Lithuaniae australis et mediae, imprimis districtus Sluzk dedisse traditur / A. F. C. Fischer // Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft in Bern. – 1844. – № 24. – S. 93–100.
7. Tessoroff, F. Vegetationsskizze von Oberlaufe der Schtschara (Gouv. Minsk und Grodno) / F. Tessoroff // Bericht der Freien Vereinigung für Pflanzengeographie und systematische Botanik für das Jahre 1920 und 1921. – Berlin-Dahlem, 1922. – P. 25–103.
8. Molins, M. P. Biogeographic variation in genetic variability, apomixis expression and ploidy of St. John's wort (*Hypericum perforatum*) across its native and introduced range / M. P. Molins [et al.] // Annals of Botany. – 2013. – V. 113 (3). – P. 1–11.
9. Robson, N. Studies in the genus *Hypericum* L. (*Guttiferae*) 4 (2). Section 9. *Hypericum* senso lato (part 2): subsection 1. *Hypericum* series 1, *Hypericum* / N. Robson // Bull. Natural History Mus. London, Botany. – 2002. – V. 32. – P. 61–123.
10. Koch, A. M. Evolution of cryptic gene pools in *Hypericum perforatum*: the influence of reproductive system and gene flow / A. M. Koch [et al.] // Annals of Botany. – 2013. – V. III, № 6. – P. 1083–1094.
11. Puente, M. Biogeographic variation in genetic variability, apomixis expression and ploidy of St. John's wort (*Hypericum perforatum*) across its native and introduced range / M. Puente [et al.] // Annals of Botany. – 2013. – V. 113, № 3. – P. 1–11.
12. Дубовик, Д. В. К вопросу о распространении некоторых редких и охраняемых видов сосудистых растений Беларуси / Д. В. Дубовик [и др.] // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси; Н. А. Ламан (науч. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 48. – С. 325–338.
13. Vitek, E. *Viola* × *palmata* L. (*Violaceae*) new for Austria and Europe / E. Vitek, J. Danihelka, W. Adler // Ann. Naturhist. Mus. Wien. – 2012. – V. 113. – P. 264–265.
14. Пералік насення, якое прапануецца да абмену Батанічным садам Беларускай Дзяржаўнай Акадэміі сельскае Гаспадаркі: 1926 г. – Горкі, БССР: Типо-літаграфія Акадэміі, 1926. – 12 с.
15. Дубовик, Д. В. О некоторых редких адвентивных видах растений во флоре Беларуси / Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович // Экологическая культура и охрана окружающей среды: I-е Дорофеевские чтения: материалы междунар. научно-практ. конф.; 21–22 ноября 2013 г.; Витебск, 2013. – С. 130–132.
16. Литвинова, Н. А. *Crepis rhoeadifolia* M. Bieb. (*Compositae*) во флоре Беларуси / Н. А. Литвинова // Экспериментальная биология и биотехнология. – 2022. – № 1. – С. 81–89.

Поступила в редакцию 04.04.2023 г.

ЮБИЛЯРЫ JUBILEE

ОЛЬГА СТЕПАНОВНА ГАПИЕНКО (к 75-летию со дня рождения)

В этом году отметила 75-летний юбилей Ольга Степановна Гапиенко – выдающийся белорусский миколог, одна из основателей микологической школы в нашей стране.

Ольга Степановна родилась 15 марта 1948 г. в Минске. В 1971 г. окончила Минский государственный педагогический институт имени А. М. Горького (сейчас – Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка), после чего осталась работать там же на кафедре ботаники.

В 1974 г. начала свой творческий путь ученого-миколога в лаборатории низших растений (впоследствии лаборатория микологии) Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича АН БССР. В этот период в институте трудилась целая плеяда известных белорусских микологов и лишенологов, многие из которых были учениками еще В. Ф. Купревича и М. П. Томина. По окончании аспирантуры в 1984 г. Ольга Степановна защитила кандидатскую диссертацию на тему «Макромицеты дубовых лесов Белоруссии и их роль в процессах минерализации растительных остатков».

За время работы в Институте – с 1974 по 2018 гг. Ольгой Степановной было опубликовано более 150 научных трудов (включая 7 монографий) и подготовлено большое количество учеников.

Основные научные интересы О. С. Гапиенко лежат в области систематики и экологии высших грибов. Проведенные Ольгой Степановной в течение многих лет мониторинговые работы позволили определить биоиндикационные свойства грибов, проследить отдельные этапы процесса поглощения грибами тяжелых металлов. На основании изучения аминокислотного состава малоизвестных видов был расширен перечень допущенных к заготовке в промышленных целях грибов. Под руководством О. С. Гапиенко многие годы успешно развиваются исследования в области экологии и охраны редких видов грибов.



Ольга Степановна участвовала в подготовке всех изданий Красной книги Республики Беларусь и является соавтором карт распространения грибов в Национальном атласе Республики Беларусь.

Возглавляя с 1993 г. в течение 23-х лет лабораторию микологии, Ольга Степановна на долгие годы вперед предопределила основные направления развития исследований и деятельности нашего научного коллектива.

Мы все поздравляем Ольгу Степановну со знаменательной датой и пользуемся предоставленной возможностью, чтобы еще раз поблагодарить от лица всех ее коллег и учеников за многолетний плодотворный научный и педагогический труд, за преподанный ею высокий образец человеческих качеств настоящего представителя белорусской интеллигенции, а также сердечно пожелать доброго здоровья на долгие годы и большого человеческого счастья.

Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева, С. И. Кориняк, Я. А. Шапорова

СВЕТЛАНА АНАТОЛЬЕВНА НОВИК (к 70-летию со дня рождения)



Светлана Анатольевна Новик – научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности, светлый человек, душа коллектива, одна из немногих старейших сотрудников Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси, чей трудовой стаж в ботанической науке перешагнул 50-летний рубеж, вобрав в себя годы самозабвенного труда в полевых опытах и исследовательских экспедициях в самые отдаленные участки природно-растительных комплексов страны, аналитические исследования почвенного и растительного материала за лабораторными столами химических кабинетов, часы и дни камеральной и статистической обработки полученных результатов и множество других работ, из которых в итоге рождались новые знания о состоянии растительности, об угрожающих ей природных и антропогенных опасностях и на основе которых разрабатывались меры по ее сохранению и охране.

Родилась Светлана Анатольевна в прекрасный весенний праздник – 8 марта в 1953 г. в одном из интереснейших исторических мест Беларуси – г. Новогрудке в семье служащих – Анатолия Александровича и Валентины Марцельевны. Окончив с высокими баллами в 1970 г. Новогрудскую среднюю школу № 3, работала на предприятии «Сельхозтехника», одновременно являясь слушателем подготовительного отделения Гомельского государственного университета. В

1973 г. была принята на работу в Институт экспериментальной ботаники АН БССР вначале на временную должность лаборанта в лабораторию физиологии питания растений, где ей была поручена достаточно трудоемкая и ответственная работа с зерновыми культурами в полевых опытах на Минской болотной станции – обработка и удобрение посевов, определение продуктивности и морфометрических характеристик растений, отбор и подготовка растительных и почвенных образцов для химических анализов. Скрупулезность, ответственное отношение к выполняемой работе, заинтересованность в ее результатах позволили через непродолжительное время зачислить Светлану Анатольевну в штат лаборатории.

В 1980 г. она поступает на заочное отделение Белорусской сельскохозяйственной академии в г. Горки, где в 1985 г. оканчивает полный курс обучения по специальности «агрономия» с присвоением квалификации ученого агронома. В Институте экспериментальной ботаники наработку опыта экспериментальной научной работы с растениями культурной и природной флоры Светлана Анатольевна получила, проходя трудовой путь в должностях старшего лаборанта, инженера I категории, младшего научного и научного сотрудника под руководством таких видных ученых как профессор, д.б.н. В. М. Терентьев (лаборатория физиологии питания растений), д.б.н. Л. П. Смоляк, д.б.н. В. С. Гельтман (лаборатория продуктивности и водного режима фитоценозов), д.б.н. А. И. Русаленко (лаборатория фитомониторинга), д.б.н. Д. С. Голод (лаборатория геоботаники), которые видели в ней грамотного, квалифицированного сотрудника с высоким чувством ответственности за порученное задание. Для каждого из руководителей подразделений, в которых трудилась Светлана Анатольевна, она неизменно выступала крепкой опорой в поддержании в научном коллективе исполнительской дисциплины, в организации исследовательской работы как в лабораторных, так и экспедиционных условиях.

Как высококвалифицированный сотрудник, в совершенстве владеющий методиками агрохимического анализа почв, морфометрическими методами изучения возрастных особенностей роста и развития древесных растений, приемами проведения полевых геоботанических исследований, Светлана Анатольевна в течение более 35 лет активно участвовала в проведении экспедиционных работ, внося достойный вклад в разра-

ботку множества плановых тем, бюджетных и хозяйственных заданий лаборатории геоботаники и картографии растительности.

В течение своей продолжительной трудовой деятельности С. А. Новик многократно выступала полноправным соавтором обширного ряда научных работ, а также карт, брошюр, научно-популярных статей, опубликованных совместно с А. И. Русаленко, В. Д. Гуцевичем, В. С. Адериho, А. З. Тютюновым, Н. Ф. Ловчим, Д. С. Голодом, В. И. Парфеновым, М. В. Кудиным, И. М. Степановичем, А. В. Пучило, С. Ю. Шустовой, А. В. Пугачевским, Н. А. Зеленкевич, Д. Г. Груммо и др. За многолетний добросовестный труд в области науки о растительности награждена почетными грамотами и благодарностями Института.

Человек активной жизненной позиции, С. А. Новик продолжительное время являлась бесменным проформом лаборатории. Чуткая, отзывчивая, энергичная и принципиальная, обладающая широким кругозором, Светлана Анатольевна пользуется авторитетом и большим уважением в коллективе. Многие сотрудники обращаются к ней за помощью и советом и всегда находят необходимую поддержку.

Поздравляем Светлану Анатольевну со знаменательной датой! Восхищаемся ее неутомимостью, оптимизмом и жизнелюбием. Выражаем искреннюю признательность и благодарность за многолетний труд и желаем крепкого здоровья, благополучия, удачи во всех начинаниях!

Н. А. Зеленкевич, С. Ю. Шустова, А. В. Пучило

ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ ТРЕТЬЯКОВ (к 70-летию со дня рождения)



В 2023 г. исполнилось 70 лет известному белорусскому ученому-ботанику, к.б.н. Дмитрию Ивановичу Третьякову.

Дмитрий Иванович родился 10 февраля 1953 г. в д. Пиревичи Жлобинского р-на Гомельской области. После окончания средней школы он поступил на биологический факультет Белорусского государственного университета имени В. И. Ленина (БГУ), который окончил в 1975 г. С первых дней учебы у него не было сомнения в выборе узкой специализации, поскольку именно на кафедре систематики растений он увидел перспективу реализации своих познаний разнообразия растительного мира. Во время летних студенческих каникул Дмитрий Иванович принимал участие в научных экспедициях по изучению флоры Беларуси, проводимых сотрудниками Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича АН БССР. Итогом его кропотливых изысканий явилась дипломная работа «Исследования флоры госзаповедника Налибокская пушта», в которой приведено 664 вида сосудистых растений с систематическим, эколого-биологическим и географическим анализом флоры.

Трудовую деятельность Д. И. Третьяков начал директором Гривковичской базовой школы Пинского района Брестской области, куда был направлен по распределению после окончания ВУЗа. И в этот период он не прекращал своих исследований. Постоянно организовывал для уче-

ников экскурсии в природу, собирал гербарий флоры района. В итоге, впервые для этой территории был выявлен ряд редких видов растений.

В 1978 г. он принят на работу младшим научным сотрудником в лабораторию флоры и систематики Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича АН БССР, где работал до 2014 г., в последние годы в должности ведущего научного сотрудника.

В 1990 г. им была успешно защищена кандидатская диссертация «Роль синантропного компонента в формировании флоры Беларуси».

За время своей научной деятельности Дмитрий Иванович участвовал в выполнении многих государственных программ. Главные научные интересы Д. И. Третьякова всегда составляли изучение флоры сосудистых растений Беларуси, вопросы ее синантропизации, проблемы охраны растительного мира и борьбы с инвазивными видами растений, палеоботанические исследования. Им опубликовано около 100 научных работ, он является соавтором 16 монографий, в том числе таких фундаментальных трудов как «Флора Беларуси. Сосудистые растения», «Определитель высших растений Беларуси», «Красная книга Республики Беларусь», «Национальный атлас Беларуси», «Atlas Florae Euroraeae» и многих других.

Во время работы в Институте экспериментальной ботаники, Д. И. Третьяков прилагал множество усилий и стараний по организации, пополнению и поддержанию в надлежащем состоянии Гербария Института – национального достояния Республики Беларусь, являлся куратором нескольких коллекций, включая самую крупную из них – гербарий сосудистых растений, активно участвовал в пропаганде научных знаний, щедро делился своими знаниями со студентами, аспирантами и молодыми научными сотрудниками.

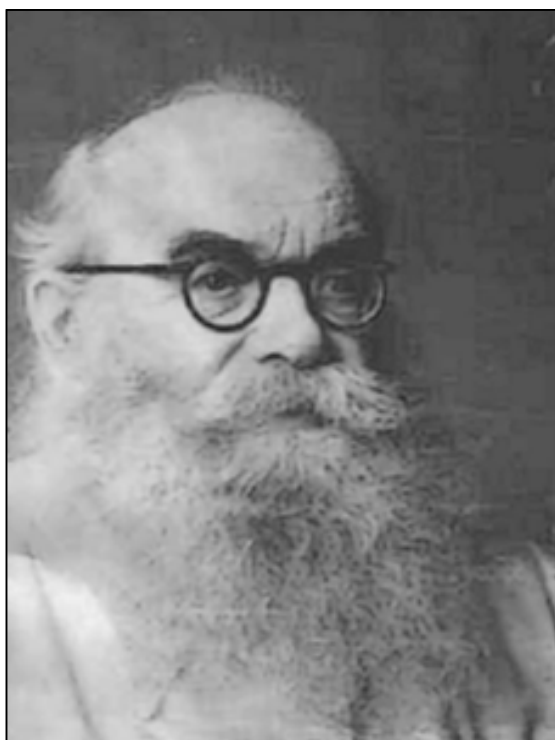
Д. И. Третьяков до сих пор ведет активную научную деятельность, выезжает в экспедиции по изучению редких видов растений страны, готовит ряд научных публикаций, в том числе монографию, посвященную флоре Беловежской пушты. За консультациями по вопросам флоры к нему обращаются сотрудники не только нашего Института, но и других отечественных и зарубежных научных учреждений.

Пожелаем Дмитрию Ивановичу крепкого здоровья, бодрости духа, сил и энергии для успешного завершения его творческих задумок.

Подготовлено редколлегией сборника «Ботаника (исследования)» по материалам <https://cyberleninka.ru/article/n/dmitriy-ivanovich-tretyakov-k-60-letiyu-so-dnya-rozhdeniya/pdf>

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ MEMORABLE DATES

К 140-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ МИХАИЛА ПЕТРОВИЧА ТОМИНА (1883–1967)



25 июля исполняется 140 лет со дня рождения Михаила Петровича Томина, ведущего лишенолога и ботаника. М. П. Тomin родился 25.07.1883 г. (новый стиль) в селе Шаровичи Жиздринского уезда Калужской губернии (сейчас – Рогнединского района Брянской области). После окончания церковно-приходской школы, поступил в Жиздринское городское училище по специальному классу садоводства и огородничества и окончил его в 1900 г. В 1906 г. он успешно окончил Московскую земледельческую школу и получил особое право на поступление в высшее учебное заведение Министерства земледелия, был принят в Петербургский лесной институт, откуда в 1907 г. перевелся в Московский сельскохозяйственный институт, который окончил в 1912 г. с дипломом первой степени и течение 1912–1913 гг. работал там в должности ассистента. В 1913 г. Михаил

Петрович был утвержден на должность старшего ассистента Воронежского сельскохозяйственного института (в настоящее время – Воронежский аграрный университет им. Петра I). В октябре 1929 г. Коллегией Народного комиссариата просвещения Белорусской ССР М. П. Тomin был утвержден профессором Белорусской сельскохозяйственной академии в г. Горки, но не смог приехать на работу. В том же году он был избран профессором ботаники Архангельского лесотехнического института, в котором преподавал до 1931 г., с 1931 по 1934 гг. работал в Оренбургском институте ветеринарии и мясного скотоводства.

С 1934 г. начинается белорусский период в жизни М. П. Томина. В этом году он был приглашен на работу заведующим отделом споровых растений Центрального ботанического сада АН БССР в г. Минск, куда он переехал, взяв с собой практически весь гербарный материал по лишайникам из г. Воронежа. Одновременно с сентября 1934 г. до конца июня 1941 г. М. П. Тomin работал по совместительству в должности профессора при кафедре ботаники Белорусского государственного университета. В 1935 г. начались работы по проектированию оранжерей сада, и М. П. Тomin был назначен заместителем директора, уполномоченным по общению со строительным управлением и госпроектбюро.

Важным направлением деятельности Ботанического сада в довоенные годы была пропаганда научных знаний и достижений учёных. Научные сотрудники делали доклады как для работников Ботанического сада, так и для населения республики. Так, например, в 1937 г. профессором М. П. Томиным для рабочих Сада был сделан доклад «Сістэматыка раслін» на белорусском языке.

Со студенческих лет и на протяжении всей жизни М. П. Тomin большую часть своей исследовательской деятельности выдающегося ученого-ботаника посвятил занятию лишенологией. Начав с небольших сводок по различным системати-

ческим группам лишайников: родам *Alectoria*, *Caloplaca*, *Coccocarpia*, *Usnea* и др., – Михаил Петрович переходит к изданию определителей по лишайникам. Так в 1936 г. выходит из печати «Определитель по лишайникам БССР», а в 1937 г. «Определитель кустистых и листоватых лишайников СССР». В 1938 г. М. П. Тomin публикует вторую часть определителя лишайников Белоруссии и смежных областей России и Украины.

За научные и педагогические заслуги Президиумом АН БССР М. П. Тominу 28 февраля 1937 г. была присуждена ученая степень доктора биологических наук, а 11 апреля 1940 г. он был избран членом-корреспондентом АН БССР.

После освобождения Белоруссии от немецко-фашистских захватчиков М. П. Тomin продолжил свою работу в Ботаническом саду АН БССР. В 1948 г. отдел флоры и гербария, которым в то время заведовал М. П. Тomin, был передан из Ботанического сада АН БССР в состав Института биологии, в настоящее время – Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича.

Неоднократные переезды М. П. Томина с одного места работы на другое (Воронеж, Архангельск, Оренбург, Минск), как и обстоятельства общественно-политической жизни страны (революции, войны, реорганизация науки), не позволили ему создать в Беларуси полноценную лишайнологическую школу. Тем не менее, под руководством М. П. Томина было подготовлено два кандидата наук по специальности «*лихенология*» и один кандидат по специальности «*систематика цветковых растений*» – в 1946 г. была защищена диссертация Натальей Оттовной Цеттерман «Кладонии БССР». Её работа содержала ключи для определения видов лишайников рода *Cladonia* Wigg., в основу которого положены методы хемосистематики (действие бензидина и парафенилендиамина), а также морфологические особенности лишайников. В таблицу для определения, кроме видов Беларуси, включены все известные в то время виды, встречающиеся в пределах Европейской части Советского Союза. Список содержит 45 таксонов, включая и два новых для Беларуси вида *Cladonia nemoxyna* (Ach.) Zopf и *Cladonia grayi* G. Merr. ex Sandst. Вторая диссертационная работа по лишайникам под руководством М. П. Томина была защищена в 1953 г. Ниной Васильевной Семеновой (Н. В. Горбач) «Эпифитные лишайники главнейших древесных пород Негорельского учебно-опытного лесхоза».

В 1950-х гг. М. П. Тomin издает серию статей, посвященных описанию новых видов лишайников. В статье «Новые и редкие лишайники СССР» он приводит описания 7 новых видов: *Dermatocarpon ferganense* Tomin, *Lecania pallida* Tomin,

Lecanora ferganensis Tomin, *Lecidea ferganensis* Tomin, *Staurothele dispersa* Tomin, *Toninia flavida* Tomin, *Toninia schafeevii* Tomin., – и двух внутривидовых таксонов *Aspicilia fruticulosa* f. *Elegans* Tomin, *Lecania koerberiana* var. *suffruticosa* Tomin. В работе «Интересные и новые виды лишайников СССР» М. П. Тomin описывает ещё 6 новых таксонов: *Buellia ferganensis* Tomin, *Lecanora schafeevii* Tomin, *Lecidea ochracea* Tomin, *Lecidea coeruleoalbicans* Tomin, *Lecidea endoreagens* Tomin, *Teloschistes brevior* f. *nanum* Tomin.

Еще до войны коллектив ботаников Института биологии по инициативе М. П. Томина начал работать над созданием пятитомного монографического труда «Флора БССР». Первый том «Флоры БССР» был подготовлен к печати уже в 1941 г. Однако лишь в 1949 г., благодаря тому, что были сохранены рукописи, вышел из печати первый, а затем и второй том. Работа над составлением «Флоры БССР» проходила под общим руководством заведующего отделом флоры и гербария Института биологии АН БССР М. П. Томина, который взял на себя также и труд редактирования рукописи, им лично составлен ряд таблиц для определения видов и сделаны описания некоторых родов и семейств. В 1959 г. работа над монументальным трудом «Флора БССР» завершилась выходом пятого тома.

За плодотворную деятельность в области ботаники 22 декабря 1956 г. М. П. Тomin был избран академиком АН БССР по специальности «Систематика растений». Ученый вел активную переписку со многими исследователями из разных стран: Австрии (К. Кейслер), Болгарии (Б. Железова, Б. Стефимов), Германии (В. Грумман, Е. Польшт), Дании (М. Христиансен, А. Хансен), СССР (К. Рассадина, В. Куваев, Н. Вокуева, Х. Трасс, Н. Шеметов, Х. Азамаа, В. Паномаренко, Л. Васильева), США (В. Кулберсон, К. Додж, Л. Чаффин, В. Томсон, В. Эванс, П. Сайп, М. Лэмб), Швеции (А. Магнуссон, Г. Дегелиус, В. Вебер), Чехословакии (А. Везда), Финляндии (Л. Фагерстрем, Р. Хакулинен), Японии (С. Масами, Ю. Асахина, И. Икома). В период с 1955 по 1964 гг. к ученому за помощью в определении лишайников часто обращались сотрудники из различных научных организаций и вузов Советского Союза: Ташкентского государственного педагогического института, Московского университета, Сихотэ-Алинского государственного природного заповедника. Сотрудники заповедников, вузов и других организаций высылали М. П. Тominу гербарные образцы для определения. Несмотря на загруженность работой, академик свободное время уделял коллекционированию марок. И одной из возможностей пополнения своего собрания знаков почто-

вой оплаты новыми экспонатами стали почтовые марки на письмах ученых, присылаемых М. П. Тომину из различных стран мира.

С 1961 г. по состоянию здоровья М. П. Тomin ушел на почетную пенсию. 30 июля 1963 г. за многолетнюю научно-педагогическую деятельность и в связи с восьмидесятилетием со дня рождения академик, доктор биологических наук, профессор М. П. Тomin был награжден грамотой Верховного совета Белорусской ССР.

Умер Михаил Петрович Тomin 31 мая 1967 г. на 84-м году жизни. Его прах захоронен на Восточном кладбище г. Минска.

Непререкаемый авторитет М. П. Томина в области лишенологии, его заслуги в развитии этого раздела ботаники имеют мировое признание, что

подтверждается фактом увековечивания его имени в ботанической номенклатуре. Впервые для науки им было описано 42 новых вида и 18 внутривидовых таксонов. Ценив в Михаиле Петровиче Томине ученого и учителя, многие ботаники называли в его честь ряд открытых ими видов и разновидностей лишайников.

Однако для национальной белорусской науки важнейшим научным достижением академика М. П. Томина, на наш взгляд, следует все же считать издание под его редакцией первого монографического 5-ти томного издания «Флоры БССР».

Имя Михаила Петровича Томина, академика АН БССР, выдающегося лишенолога и ботаника, крупного организатора науки навсегда останется в памяти ученых-биологов нашей страны, в истории белорусской науки.

А. П. Яцына, Т. Г. Шабашова

УЧЕНЫЙ, ПАТРИОТ, ГРАЖДАНИН: К 120-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА НИКОЛАЯ ДМИТРИЕВИЧА НЕСТЕРОВИЧА (1903–1984)

25 июля 2023 г. исполнилось 120 лет со дня рождения академика Академии наук Белорусской ССР, заслуженного деятеля науки БССР, доктора биологических наук, профессора, лауреата Государственной премии БССР Николая Дмитриевича Нестеровича – известного ботаника, дендролога и интродуктора древесных растений, крупного организатора науки.

Славный, хотя и непростой жизненный путь Николая Дмитриевича тесно переплетен с историей нашей страны. Благодаря революционным изменениям, выходец из крестьянской семьи смог получить достойное образование, позволившее проявиться его природному таланту, приведшему к крупным научным достижениям, стать одним из организаторов белорусской академической науки.

Н. Д. Нестерович родился 25 июля 1903 г. в д. Енцы Кормянского района Гомельской области в крестьянской семье. До 1923 г. учился в школе и работал в хозяйстве родителей. В 1923 г. будущий академик поступил в Гомельский лесной техникум, после окончания которого в 1926 г. был направлен на работу в Хойникское лесничество на должность помощника лесничего. Любовь к природе, стремление к знаниям и профессиональному росту привели молодого специалиста в Белорусскую сельскохозяйственную академию на лесной факультет, на базе которого впоследствии был образован Белорусский лесотехнический институт (ныне – Белорусский государственный технологический университет).

Уже во время учебы Николай Дмитриевич проявляет качества лидера – с 1927 г. он, член ВКП(б), возглавляет партийную организацию факультета, а затем – и Института. По окончании в 1931 г. Академии Н. Д. Нестерович был рекомендован на научную работу и назначен заведующим Ленинским учебно-опытным лесничеством (ныне – Кореневская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси) и по совместительству ассистентом кафедры лесоводства и лесных культур организованного в 1930 г. в Гомеле Белорусского лесотехнического института имени 13-летия Октябрьской Революции.

В 1935 г., стремясь к творческой научной работе, Н. Д. Нестерович поступает в аспирантуру при АН БССР. С той поры и до конца жизни научная и научно-организаторская деятельность Н. Д. Нестеровича была связана с Академией наук Белорусской ССР, с развитием в республике ботанико-дендрологической науки.

В период аспирантской подготовки под руководством профессора С. П. Мельника он занимается вопросами биологии быстрорастущих пород, ускорения их выращивания селекционными методами. Итогом работы над этой тематикой стала подготовка и успешная защита в Ботаническом саду АН СССР (в г. Ленинград) кандидатской диссертации на тему «Гибридизация тополей». После защиты все предвоенное время Николай Дмитриевич посвящает работе в Ботаническом саду АН БССР, занимая должности ученого секретаря, старшего научного сотрудника, заведующего отделом дендрологии.

Великая Отечественная война прервала научную деятельность ученого. 1285 дней Н. Д. Нестерович прошел дорогами войны от Орловско-Курской дуги до Берлина: освобождал Орел, Брянск, Клинцы, Гомель, родную деревню Енцы, Варшаву, Познань, участвовал во взятии Берлина. Свой автограф майор Нестерович оставил на стенах поверженного рейхстага. За проявленные мужество и героизм Н. Д. Нестерович был награжден боевыми орденами Красной Звезды, Отечественной войны I-й и II-й степени, медалями!





В августе 1946 г. Н. Д. Нестерович демобилизуется из армии и уже в сентябре возвращается к научной деятельности. Вначале он работает в Ботаническом саду АН БССР, возглавляя работу по его восстановлению. Затем Николай Дмитриевич переходит в Институт биологии (ныне Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича), где создает отдел дендрологии и становится его заведующим. Далее – работа в должности заместителя директора по научной работе, исполняющего обязанности директора Института (1952–1953 гг.). Много сил ученый отдает участию в работе по восстановлению и расширению ботанических коллекций и изданию фундаментального труда белорусских ботаников «Флора БССР».

Но основным направлением научных изысканий Николая Дмитриевича в этот период является разработка основ интродукции и акклиматизации деревьев и кустарников в условиях Беларуси, внедрение в лесное хозяйство и зеленое строительство новых технически ценных, быстрорастущих и декоративных видов древесных растений. Результаты его работ этого периода опубликованы в монографиях: «Технически ценные древесные растения, внедряемые в леса БССР», «Деревья и кустарники для зеленого строительства БССР», «Шишки и семена хвойных пород Белорусской ССР» и др. Им организованы всесторонние исследования зимостойкости древесных экзотов, закономерностей их роста и развития, плодоношения в условиях интродукции; реализованы эксперименты по влиянию минеральных и бактериальных удобрений на продуктивность древесных растений.

В 1954 г., обобщив результаты многолетних исследований, Н. Д. Нестерович в Ботаническом институте имени В. Л. Комарова АН СССР защищает докторскую диссертацию на тему: «Плодоношение интродуцированных древесных растений и перспективы их разведения в БССР». Впервые в условиях Беларуси им были изучены биологические закономерности цветения и плодоношения древесных интродуцентов; на примере 83 новых для страны древесных пород исследовано влияние факторов среды на репродуктивный процесс; им впервые было обосновано выделение пяти интродукционных районов на территории республики; разрешён ряд теоретических и практических вопросов, касающихся основ интродукции и акклиматизации древесных растений. Благодаря этим исследованиям определилось новое направление в интродукции, а дальнейшие разработки касались обогащения культурной флоры Беларуси новыми хозяйственно ценными видами растений, приёмов внедрения экзотов в зелёное строительство и лесное хозяйство, изучения минерального питания древесных растений, водного и светового режимов произрастания, некоторых особенностей их физиологии. Именно работы Н. Д. Нестеровича тех лет определили общее направление деятельности Центрального ботанического сада АН БССР в сфере интродукции деревьев и кустарников и их внедрения в практику.

На территории Беларуси в естественных условиях произрастает немногим более 80 видов деревьев и кустарников, хотя природные условия республики пригодны для произрастания значительно большего числа видов и форм древесных растений. В результате исследований, проведенных Н. Д. Нестеровичем и его учениками было показано, что в природно-климатическом условиях нашей страны может успешно произрастать 712 видов и 90 форм древесных и кустарниковых экзотов. Для внедрения в культуру и производство было рекомендовано 422 вида древесных и кустарниковых пород и 276 видов – для смежных областей Российской Федерации, Украины, республик Прибалтики.

Для использования в лесном хозяйстве были также предложены новые хозяйственно полезные (высокопродуктивные, быстрорастущие, орехоносные) древесные породы: псевдотсуга Мензиса, дуб красный, сосны Муррея и Банка – из Северной Америки, лиственница японская, кедр сибирский, бархат амурский, лиственница сибирская, орех маньчжурский, пихта сибирская и ряд других – с Дальнего Востока и Сибири. Разработанные Николаем Дмитриевичем, его коллегами и учениками методы и приёмы внедрения хозяйственно ценных древесных экзотов в культуру по праву относятся к крупным достижениям в ин-

тродукции растений; его работы известны далеко за пределами нашей страны.

Коллективом белорусских дендрологов под руководством акад. Н. Д. Нестеровича впервые в научной литературе детально описаны морфологические признаки и особенности плодов и семян произрастающих в условиях интродукции 556 видов древесных растений, разработаны оригинальные шкалы отношения древесных пород к влажности и кислотности почвы, свету. Эти исследования стали теоретической основой обоснования мероприятий по повышению продуктивности, улучшению качества и породного состава лесов, созданию устойчивых зелёных насаждений. Они обобщены в таких крупных работах как «Интродуцированные деревья и кустарники Белорусской ССР» (в трёх томах), 1959–1961 гг.; «Отношение древесных растений к влажности и кислотности почвы», 1966 г.; «Плоды и семена лиственных древесных растений», 1967 г.; «Влияние света на древесные растения», 1969 г.; «Древесные растения и влажность почвы», 1972 г.; «Биология древесных растений», 1975 г.



В 1954 г. Н. Д. Нестеровичу присваивается звание профессора, в 1956 г. он избирается действительным членом Академии наук БССР, в 1967 г. удостоивается почетного звания заслуженного деятеля науки Белорусской ССР. В 1976 г. академик Н. Д. Нестерович с группой своих учеников был удостоен Государственной премии БССР за цикл работ по изучению морфологических, биологических и физиологических особенностей древесных

растений. Правительство высоко оценило многогранную, плодотворную деятельность учёного и к его военным орденам и медалям прибавились два ордена Ленина, орден Октябрьской революции, Орден Трудового Красного Знамени, Знак Почёта, девять медалей и четыре почётные грамоты Президиума Верховного Совета БССР.

Научную работу Николай Дмитриевич органично совмещал с педагогической деятельностью – вел курс лекций и практические занятия по лесным культурам в Белорусском лесотехническом институте имени С. М. Кирова (1948–1953 гг.). Под его руководством защищены докторская (А. Ф. Иванов) и 13 кандидатских (Е. В. Иванова, А. Ф. Иванов, А. В. Пономарева, Д. С. Трухановский, Ю. А. Бибилов, А. З. Бобореко, Г. И. Маргайлик, Л. И. Кравченко, Л. И. Рахтеенко, А. А. Новикова, Т. Ф. Дерюгина, В. В. Савельев, А. И. Лучков) диссертаций.

Талантливый организатор науки, Николай Дмитриевич Нестерович в течение 13-ти лет (1956–1969 гг.) возглавлял Отделение биологических наук, а с 1969 по 1973 гг. работал в должности вице-президента АН БССР. Социально активный и ответственный человек, Николай Дмитриевич совмещал научную работу с общественной деятельностью – избирался членом парткома АН БССР, дважды – членом Минского горкома Коммунистической партии Белоруссии, трижды – депутатом Советского райсовета депутатов трудящихся г. Минска. Он был членом редколлегии Белорусской Советской Энциклопедии, заместителем редактора журнала «Доклады АН БССР», членом правления Всесоюзного ботанического общества.

В последние годы своей яркой и насыщенной трудом, достижениями и событиями жизни Николай Дмитриевич заведовал лабораторией древесных растений Института экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича АН БССР, где продолжал руководить работами по изучению древесных растений, передавая свой обширный опыт и знания более молодым коллегам.

Николай Дмитриевич Нестерович ушел из жизни 27 декабря 1984 г. Его прах упокоен на Московском кладбище в г. Минске. В память об ученом на доме № 15 по улице Кульман в г. Минске, где он жил с семьёй последние годы жизни, установлена мемориальная доска.

Память об этом простом в общении и чутком человеке, большом ученом и крупном организаторе науки сохраняется в его книгах и статьях, в работах его учеников и коллег, в сердцах тех, кто жил и работал рядом с ним. Его жизнь стала частью истории Национальной академии наук Беларуси, истории нашей страны.

А. В. Пугачевский

ИВАН АНДРЕЕВИЧ КАУРОВ, К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ (1923–1994)

В 2023 г. исполняется 100 лет со дня рождения кандидата сельскохозяйственных наук, ветерана Великой Отечественной войны, орденоносца Ивана Андреевича Каурова – талантливое ученого-ботаника, специалиста в области интродукции растений и фитоценологии, внесшего значительный вклад в развитие на основе эколого-физиологических исследований культурфитоценологического направления ботанической науки в Беларуси.

И. А. Кауров родился в г. Ленинграде, 11-ый ребенок в семье рабочих – выходцев из крестьян-бедняков. После окончания 8-ми классов ленинградской средней школы продолжил учебу на родине матери в Брянской области, в Кокинском сельскохозяйственном техникуме, по окончании которого в 1940 г. получил диплом агронома. С началом Великой Отечественной войны 16-летний агроном, выправив в документах одному ему известным способом дату своего рождения (осень 1925 г.) на 22 июня 1923 г. вступает добровольцем в ряды Красной армии, став курсантом Орловского военно-пехотного училища. В декабре 1942 г. на Воронежском фронте молодой, а по сути, совсем юный офицер И. А. Кауров начинает славный боевой путь. Вначале Юго-Западный, затем 1-й Украинский фронт. Дон – Днепр – Висла – Одер – Влтава; Львов – Варшава – Вена – Берлин – Прага – вот та школа географии и ландшафтов, которую проходил в 1942–1945 гг. молодой командир отдельной разведывательной роты, заплатив за эту учебу непомерно высокой ценой – молодостью, кровью, шестью ранениями, из которых четыре тяжелые.

Вступив в мирную жизнь кавалером трех боевых орденов, И. А. Кауров возвращается к своей довоенной мечте – посвятить жизнь изучению природы, красоту и притягательную силу которой он ощущал в себе с юношеских лет.

В 1947 г. Иван Андреевич поступает в Ленинградскую лесотехническую академию имени С. М. Кирова, после окончания которой с отличием в 1952 г. его, как кировского стипендиата, показавшего незаурядные способности к исследовательской работе, приглашают на учебу в аспирантуру при академии. Работа в 1952–1955 гг. над кандидатской диссертацией «Итоги интродукции дальневосточных древесных и кустарниковых пород в районе Ленинграда» положила начало периоду исследовательской деятельности



кандидата сельскохозяйственных наук И. А. Каурова в области интродукции. За период 1955–1961 гг. им опубликован ряд оригинальных статей, посвященных жизнеспособности пыльцы и качеству семян древесных дальневосточных пород, интродуцированных в Ленинградскую область. С 1956 по 1958 гг. И. А. Кауров работает младшим научным сотрудником Отдела ботаники Всесоюзного научно-исследовательского института лекарственных растений (ВИЛАР), продолжает исследования в области палинологии. В составе делегации ВИЛАРа совершает 4-месячную научную экспедицию в Китайскую Народную Республику (КНР), где знакомится с флорой южных областей Китая и изучает лекарственные растения, применяемые в народной медицине. Итоги и опыт этой экспедиции обобщены И. А. Кауровым в статьях, посвященных древесным лекарственным растениям, ботанико-фармакологическим исследованиям в КНР и др.

В 1958 г. И. А. Кауров приглашен на должность заведующего Отделом технических, лекарственных и плодово-ягодных культур Центрального ботанического сада АН БССР. С этого времени и до последних дней жизни деятель-

ность И. А. Каурова посвящена белорусской ботанической науке, а белорусская земля становится его второй родиной.

Великолепный знаток дальневосточной флоры и специалист в области интродукции, Иван Андреевич одним из первых обращает внимание ботаников на перспективность введения в культурную флору Беларуси дальневосточных кормовых растений и плодотворно работает в этой области. В соавторстве с Н. В. Смольским, И. И. Чекалинской, Л. Ф. Якимовской И. А. Кауров публикует работы о новых кормовых и силосных культурах для нашей страны.

Более 30-ти лет жизни И. А. Каурова (с 1963 по 1994 гг.) связаны с работой в лаборатории экологии (с 1986 г. лаборатории радиоэкологии) растений Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси. Придя в лабораторию по приглашению ее основателя, д.б.н. И. Н. Рахтеенко на должность старшего научного сотрудника, Иван Андреевич становится активным участником разработки направления, которое впоследствии станет известным как белорусская школа агрофитоценологов, в которой И. А. Кауров возглавил тематическую группу (И. Ф. Минько, Р. Н. Егорова, С. Ф. Забелендик, Т. А. Будкевич) по изучению эколого-физиологических основ создания высокопродуктивных смешанных посевов сельскохозяйственных культур. Особое признание специалистов получили проведенные с привлечением новейших на тот период времени методов радиоизотопной диагностики исследования внутривидовых и межвидовых взаимоотношений растений в сообществах через обмен корневыми метаболитами в ризосфере. Исследованиями были охвачены 2-3-х компонентные сообщества, включавшие бобовые (вика, горох, пелюшка, сераделла, люпин), злаковые (ячмень, овес) и медоносные (горчица, гречиха, фацелия) культуры. Итогом многолетней работы стали разработанные для

отраслевого внедрения «Рекомендации по созданию смешанных посевов сельскохозяйственных культур» (1976). На Всесоюзном совещании в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова был принят пятилетний план развития агрофитоценологии в СССР, где И. А. Кауров был утвержден одним из его кураторов. На всесоюзных съездах и конференциях им сделан ряд пленарных докладов о достижениях белорусских ученых в области экологической физиологии растений и агрофитоценологии.

В 1989 г., несмотря на возраст и пошатнувшееся здоровье, ветеран войны и труда подключился к выполнению программы исследований, связанных с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В условиях ежегодных экспедиций в зону радиоактивного загрязнения, Иван Андреевич стойко и мужественно, не требуя к себе особого внимания, разделял с коллегами трудности походного быта. Участие в создании коллективной монографии сотрудников Института экспериментальной ботаники «Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС)» (1995), в которой были обобщены ценнейшие по научной значимости результаты радиоэкологических исследований в природно-растительных комплексах Беларуси, стало последним вкладом И. А. Каурова в белорусскую ботаническую науку. Всего им опубликовано более 80 научных работ, включая соавторство в 5 монографиях.

Активный участник общественной жизни Института, И. А. Кауров многократно избирался в партийные и профсоюзные органы, руководил методологическим семинаром, был членом экспертной комиссии. Неоднократно поощрялся Почетными грамотами и благодарностями.

В сердцах и благодарной памяти сотрудников и коллег Ивана Андреевича Каурова навсегда остается образ этого солдата науки – замечательного человека и ученого.

Н. А. Ламан, Т. А. Будкевич

НАТАЛИЯ ВИТАЛЬЕВНА КОЗЛОВСКАЯ, К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ (1923–1991)

8 августа 2023 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Наталии Витальевны Козловской, доктора биологических наук, одного из ведущих белорусских ботаников, выдающегося специалиста в области флористики, систематики и эволюции растений, разработчика основ флорогенетического, фитогеографического и природоохранного направлений в исследовании растительности Беларуси.

Уроженка г. Ленинграда, в 1941 г. Н. В. Козловская встретила Великую Отечественную войну студенткой биолого-почвенного факультета Ленинградского государственного университета. Учеба в университете сменилась тяжелыми и голодными, под бомбежками и обстрелами, днями работы на строительстве оборонительных сооружений, фронтовыми буднями сержанта-радиста, тревогой за жизнь родных в осажденном замёрзшем городе. За участие в войне и трудовые подвиги на оборонных объектах Наталия Витальевна была награждена орденом Отечественной войны 2-й степени, медалями «За оборону Ленинграда» и «За победу над Германией в Великой Отечественной войне», а также многими юбилейными медалями.

После окончания войны она возвращается к учебе в университете, где навсегда определила свой основной научный интерес – изучение растений природной флоры. Закончив обучение, Наталия Витальевна поступает в аспирантуру, после успешного окончания которой и защиты кандидатской диссертации направляется в 1958 г. на работу в Институт биологии (впоследствии Институт экспериментальной ботаники) возрождающейся после войны Академии наук Белорусской ССР. Беларусь стала для Наталии Витальевны второй родиной, культуру, традиции и природу которой она всем сердцем полюбила и с которой тесно связала большую часть своей жизни и научной деятельности.

Вклад Н.В. Козловской в белорусскую ботаническую науку трудно переоценить. За годы ее работы в Беларуси в многочисленных научных экспедициях, организатором и непосредственным участником которых она была, собран богатейший описательный и гербарный материал по флоре республики. Систематизация и глубокий анализ полученных результатов исследований, основанное на высоко профессиональном уровне знаний умение обобщать различные по природе научные факты позволили Н. В. Козловской не



только расширить представления о видовом составе и состоянии растительного покрова на территории Беларуси, но и создать научную базу для развития в изучении флоры новых направлений – фитогеографии, флористического районирования, генезиса флоры и вопросов ее рационального использования и охраны. Созданные на основе результатов проведенных исследований такие фундаментальные классические труды как «Хорология флоры Белоруссии» (1972) и «Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны» (1978) до настоящего времени не утратили актуальности и являются настольными книгами для специалистов, соискателей и студентов, изучающих флору Беларуси. Как опытный флорист-систематик она принимала активное участие в подготовке и издании 5-томной «Флоры БССР», «Определителя растений Белоруссии», «Красной книги Белорусской ССР», «Атласа флоры Европы» («Atlas Florae Euroraeae»), неоднократно переиздававшейся книги «Лекарственные растения и их применение» (Минск, 1967; 1974) и др.

Научная деятельность Н. В. Козловской по существу явилась фундаментом природоохранного дела в Беларуси. Она участвовала в разработке научных основ охраны и рационального использования растительного мира этого региона, составлении списков растений, подлежащих охране и включенных позднее в Красную книгу Беларуси, создании сети особо охраняемых природных территорий. Наталия Витальевна была страстным пропагандистом идей охраны природы, опубликовала ряд научно-популярных статей о редких и исчезающих видах растений и замечательных уголках белорусского края, постоянно выступала с лекциями и докладами перед широкой аудиторией слушателей, на протяжении ряда лет была председателем секции редких и лекарственных растений Белорусского общества охраны природы.

Накопленные Наталией Витальевной материалы и после ухода ее из жизни в 1991 г. были использованы и используются в настоящее время при создании таких фундаментальных изданий как «Определитель высших растений Беларуси» (1999), «Флора Беларуси. Сосудистые растения»

(2009; 2013; 2017), в том числе при написании Красной книги Республики Беларусь (1981; 1993; 2005; 2015), а также при планировании и организации природоохранных мероприятий в стране. Все это с большой уверенностью позволяет утверждать, что Наталия Витальевна Козловская была и останется гордостью отечественной ботанической науки!

8 августа 2023 г. в Институте экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси состоялась презентация книги «Наталия Витальевна Козловская: воспоминания современников» (Минск, 2023), которую авторы с чувством благодарной памяти посвятили 100-летней годовщине со дня рождения Наталии Витальевны Козловской. Выступившие перед научной аудиторией ее ученики и коллеги выразили искреннюю надежду на то, что отраженный в научно-популярном издании жизненный и творческий путь этого славного подвижника ботанической науки послужит примером и призовет новые поколения талантливых молодых ученых в ряды исследователей и охранителей растительного мира Беларуси.

С. С. Савчук, Т. А. Будкевич



ЛЕОНИД ПЕТРОВИЧ СМОЛЯК, К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ (1923–1995)



В 2023 г. исполнилось 100 лет со дня рождения крупного белорусского ученого и педагога, участника Великой Отечественной войны, известного геоботаника-лесоведа, лауреата Государственной премии Леонида Петровича Смоляка.

Л. П. Смоляк родился 8 июня 1923 г. в д. Особино Буда-Кошелевского района Гомельской области в семье железнодорожного рабочего. Любовь к родной природе, острое желание изучать и приумножать ее богатства в 1940 г. привели юношу в Белорусский лесотехнический институт имени С. М. Кирова (ныне – Белорусский государственный технологический университет). Однако волею судьбы ему сначала пришлось пройти дорогами войны, где он был тяжело ранен в боях за Беларусь, и только в 1948 г. окончил Институт по специальности «лесное хозяйство».

После учебы он был направлен на работу в Полоцкий лесной техникум (ныне – Полоцкий государственный лесной колледж), где работал преподавателем лесоводства и дендрологии, заведовал дендрологическим парком техникума.

Природные способности, постоянное стремление к знаниям привели его в 1950 г. в аспирантуру, которую он успешно закончил, а в 1954 г. получил степень кандидата сельскохозяйственных наук, защитив диссертацию на тему «Естественное возобновление главнейших древесных пород на осушенных площадях Полесской низменности».

Не останавливаясь на достигнутом, Леонид Петрович работает над докторской диссертацией

«Биологические основы мелиорации болотных лесов Белоруссии», которую он успешно защитил, и в 1968 г. ему присвоена степень доктора биологических наук.

С 1953 по 1961 гг. Л. П. Смоляк работал младшим, потом старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией лесоведения и лесоводства Белорусского научно-исследовательского института лесного хозяйства (ныне – Института леса НАН Беларуси), в дальнейшем заведовал отделом гидромелиорации и почвоведения, затем перешел на работу старшим научным сотрудником Центрального ботанического сада АН БССР.

С 1962 по 1977 гг. работал в Институте экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича АН БССР, сначала старшим научным сотрудником, затем заместителем директора по научной работе и заведующим лабораторией продуктивности и водного режима фитоценозов.

С 1977 г. Л. П. Смоляк – заведующий кафедрой дендрологии и физиологии растений Белорусского технологического института имени С. М. Кирова, с 1979 г. – профессор. Педагог по призванию, он много сил, энергии и душевной щедрости отдавал подготовке высококвалифицированных специалистов и научных кадров.

Л. П. Смоляк автор около 200 научных работ, в том числе четырех монографий.

В составе авторского коллектива Л. П. Смоляку в 1972 г. была присуждена Государственная премия БССР в области науки за цикл работ по изучению структуры растительного покрова Беларуси и рационального использования растительных ресурсов.

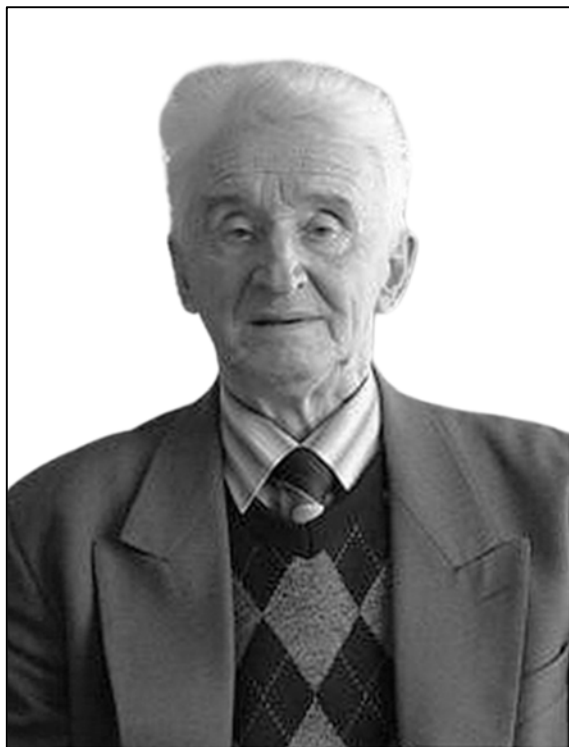
Леонид Петрович обладал уникальными организаторскими способностями, был требовательным, но справедливым, доброжелательным и отзывчивым человеком высокой эрудиции, научной принципиальности и смелых инициатив в проведении исследований.

28 марта 1995 г., на 72-м году жизни, Леонид Петрович скоропостижно скончался.

Большой практический опыт, отличное знание специфики биологических исследований и лесохозяйственного производства, завидное трудолюбие и эрудиция позволили ученому внести заметный вклад в теорию и практику лесоведения, лесного болотоведения, гидромелиорации, заповедного дела и охраны ресурсов биосферы.

Подготовлено редколлегией сборника «Ботаника (исследования)»

**ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ НАН БЕЛАРУСИ
ЕВГЕНИЙ АНТОНОВИЧ СИДОРОВИЧ,
К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
(1928–2017)**



Евгений Антонович Сидорович родился 10 марта 1928 г. в п. Березино Минской области в семье служащих. Отец, Антон Павлович, по профессии бухгалтер, и мать, Надежда Васильевна, учитель начальной школы, с самого раннего детства приучали своего первенца к работе на земле. В 1935 г. Евгений Антонович поступил в первый класс Березинской школы и к началу Великой отечественной войны успешно окончил 6 классов. Лихолетье военных лет провел с младшим братом и матерью в ее родной деревушке Беличаны, пока отец воевал в партизанском отряде. Как и все «дети войны», Евгений Антонович не очень любил вспоминать и рассказывать о ее ужасах. Гораздо охотнее он с восхищением делился своими впечатлениями о лесах и болотах, которые окружали его родной поселок и благодаря которым он и его семья смогли осилить все тяжести первых послевоенных лет. Поэтому, получив аттестат зрелости в 1947 г., ни на минуту не сомневался, куда пойдет учиться дальше. Успешно сдав вступительные экзамены, продолжил обучение на лесохозяйственном факультете Белорусского лесотехнического института им. С. М. Кирова (ныне Белорусский государственный технологический университет).

Блестящая защита выпускного дипломного проекта во многом определила характер будущей деятельности Евгения Антоновича. Молодой специалист в августе 1952 г. был направлен на работу в Сталинградскую (ныне Волгоградскую) область в качестве начальника производственного участка Дубравной лесозащитной станции Министерства лесного хозяйства СССР для реализации мероприятий так называемого «сталлинского плана преобразования природы». Именно под таким названием вошло в историю постановление Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б) от 20 октября 1948 г. № 3960 «О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР».

Согласно этому документу в течение 1950–1965 гг. планировалось создание 7 крупных государственных лесных полос. Задачей коллектива станции под руководством Е. А. Сидоровича, базирующейся в степи в 20 км от райцентра Ольховка, была посадка Государственной защитной лесной полосы в направлении Камышин – Сталинград (Волгоград), на водоразделе рек Волги и Иловли, состоящей из трех полос шириной по 60 м каждая с расстоянием между полосами 300 м и протяженностью 170 км. Весенне-летний период 1953 г. стал отправной точкой в работе молодого лесоведа по применению полученных знаний на практике. И с этой задачей Евгений Антонович успешно справился. Но уже в конце 1953 г. вышло постановление Совмина СССР № 1144, согласно которому приостанавливались все работы по защитному лесоразведению и 570 лесозащитных станций были ликвидированы.

В 1954 г. Е. А. Сидорович возвращается в г. Минск, где проходит службу в качестве старшего инженера лесного хозяйства и лесозаготовок стройуправления Штаба Белорусского военного округа, а затем офицером по особым поручениям командующего БВО. Практические навыки по вопросам рационального ведения и использования лесных ресурсов, приобретенные им в первые годы своей трудовой деятельности, пригодились в будущем. Но встреча с академиком И. Д. Юркевичем позволила молодому лесоводу-практику вновь обратиться к знаниям.

Свой путь в науку будущий ученый начал в возрасте 34 лет, что по современным представлениям может рассматриваться достаточно поздним стартом. Но в своем багаже он имел богатый опыт организатора и производственника лесохозяйственной отрасли, который не по учебным пособиям, а воочию, в сложных реалиях успешно решал поставленные задачи. В 1962 г. Евгений Антонович был зачислен в очную аспирантуру Института биологии АН БССР с утверждением названия темы диссертации «Типы и ассоциации пойменных лесов р. Днепра в пределах БССР и биологические основы повышения их защитно-водоохранных свойств», успешно защищенной через три года.

В октябре 1964 г. Президиум АН БССР утвердил для Центрального ботанического сада, в котором Е. А. Сидорович продолжил свою трудовую деятельность, новое направление исследований – охрана природы, хотя оно явилось нетрадиционным для ботанических садов. В 1966 г. по заданию Государственного комитета по охране природы при СМ БССР научная организация осуществила в регионе Белорусского Полесья, в междуречье рек Уборти и Ствиги подбор территории заповедника, который вначале был назван «Полесским». Детальное обследование и научное обоснование создания этого заповедника было проведено в 1967–1968 гг. в составе группы А. В. Бойко, Е. А. Сидорович, Н. М. Арабей, А. Б. Моисеева. В 1969 г. вышло Постановление Совета Министров БССР № 200 от 03.06.1969 г. об организации на площади 60,3 тыс. га Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника, который в 1996 г. был преобразован в национальный парк «Припятский».

На основании изучения геоморфологии территории, растительного покрова, режима и баланса грунтовых вод, биологической продуктивности фитоценозов было разработано гидрологическое и природно-территориальное районирование заповедных объектов, имеющее прикладное значение для гидромелиоративного строительства, трансформации земель сельскохозяйственного назначения и Государственного лесного фонда. Авторский коллектив цикла «Экспериментальные исследования природных растительных комплексов заповедных территорий Беларуси (Березинского и Припятского заповедников)» в составе академика Н. В. Смольского, Е. А. Сидоровича и А. В. Бойко был удостоен Государственной премии БССР в области науки за 1978 г.

С 1976 г. лаборатория экологии и охраны природы ЦБС АН БССР, возглавляемая Е. А. Сидоровичем, в связи с существенным ростом загрязнения природной среды республики выбросами

техногенного происхождения начала осуществлять эколого-фитоценологические исследования растительных комплексов в зонах их влияния с целью детальной оценки экологической ситуации и разработки прогноза состояния сосновых формаций лесов на перспективу. Концептуальной базой этих исследований явился комплексный системный анализ биотических и абиотических компонентов природной среды на различных иерархических уровнях: субклеточном, организменном, популяционном и экосистемном. С использованием этих принципов было осуществлено зонирование территорий, примыкающих к гг. Минску, Светлогорску, Лукомльской ГРЭС, а также к Мозырскому НПЗ по уровню загрязнения серой. Сочетание методов анализа экосистем на разных уровнях позволило оценить их стабильность, а также выявить условия возникновения особо опасных кризисных ситуаций, являющихся ключевыми вопросами экологического мониторинга.

Евгений Антонович известен в стране как крупный фитоценолог, который одним из первых на основе оригинального системного подхода изучал лесные фитоценозы в зонах интенсивных техногенных нагрузок. Им спроектирована и создана мобильная система автоматизированного сбора и анализа первичной информации в лесных фитоценозах, обеспечивающая полный комплекс биогеоценологических исследований и отвечающая задачам экологического мониторинга. Предложенный им метод анализа биопродукционного процесса в лесных фитоценозах нашел широкое применение в лесохозяйственной практике. А итогом работы Евгения Антоновича в данном направлении стала защита в 1984 г. докторской диссертации «Структура и функционирование лесных фитоценозов заповедных и охраняемых территорий БССР».

Середина 1980-х гг. ознаменовалась решением научных задач по двум важнейшим направлениям: первичные интродукционные испытания с разработкой научных основ культивирования клюквы крупноплодной в промышленных масштабах и исследования влияния крупнейшей экологической катастрофы XX в. (авария на Чернобыльской атомной станции) на природную среду нашей страны.

Постановлением Совета Министров БССР и Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР от 22 августа 1986 г. была утверждена комплексная программа «Об организации в Белорусской ССР промышленного производства крупноплодной клюквы», в реализации которой были задействованы 9 научно-исследовательских и изыскательских учреждений из 9 министерств и

ведомств БССР и СССР, а координатором этих исследований стал Центральный ботанический сад во главе с Е. А. Сидоровичем. Плодами полученных научных разработок пользуются ученые и практики на всем постсоветском пространстве, а Беларусь по праву считается лидером на европейском континенте в вопросах промышленного культивирования сортовой голубики и особенно клюквы крупноплодной, самая большая в Европе плантация которой, эксплуатируется в Пинском районе Брестской области по настоящее время.

В течение 1986–1990 гг. сотрудниками лаборатории во главе с Евгением Антоновичем проведена оценка радиоактивного загрязнения сосновых лесов, включая 30-км зону отчуждения, Гомельской, Могилевской и Брестской областей Беларуси. Изученная миграция радионуклидов по биологической цепи растение-почва-растение позволила выявить избирательную способность отдельных видов древесных и травянистых растений к поглощению различных изотопов (циркония-95, цезия-137 и др.), изучить изменение величины годичного прироста деревьев в сосняках мшистых по высоте и диаметру. Были продолжены исследования накопления и миграции радионуклидов в лесных фитоценозах Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника и осуществлена оценка негативного воздействия радиации на состояние хвойных и лиственных пород, что позволило разработать предложения по использованию лесных ресурсов в зонах сильного, среднего и слабого радиоактивного загрязнения.

В эти же годы в лаборатории были развернуты широкомасштабные комплексные исследования трансформации лесных экосистем региона под воздействием техногенных и рекреационных нагрузок. Для количественной оценки отдельных этапов биопродукционного процесса и связанных с ними миграционных потоков химических элементов на протяжении годичного цикла в основных лесных формациях Беларуси (сосновых, еловых, дубовых, березовых и черноольховых), расположенных в зоне антропогенного влияния на территории Минского стационара, с одной стороны, и в типологически выдержанных аналогах этих лесов со сходной возрастной структурой, произрастающих на заповедных и охраняемых территориях Воложинского, Осиповичского и Березинского стационаров, с другой, был применен метод сравнительного анализа, позволивший установить, что во всех типах растительных сообществ (а особенно в сосновых и черноольховых), произрастающих в пределах рекреационной зоны, увеличение ёмкости круговорота органического вещества сопровождалось уменьшением объемов его фактического накопления.

Особое место в исследованиях лаборатории в начале 1990-х гг. занимало изучение радиационно-теплогового режима лесов Беларуси, проводившееся посредством стационарных теплобалансовых наблюдений, включавших синхронные актинометрические, градиентные и фитометрические измерения на 24-х стационарах в основных лесных формациях. Научная гипотеза о том, что в условиях техногенной среды, отличающейся повышенным фоном промышленных загрязнений, роль абиотических факторов в изменении составляющих радиационно-теплогового баланса должна быть существенно выше, нежели на заповедных территориях, получила экспериментальное доказательство. Установлено, что, несмотря на сходство климатических показателей и идентичный характер сезонной динамики приходящей солнечной радиации, величина радиационного баланса лесных фитоценозов Минского стационара на 10–20% выше по сравнению с аналогом.

Для обеспечения полного комплекса биогеоценологических исследований, отвечающих задачам биологического мониторинга, была спроектирована и создана система автоматизированного сбора и анализа первичной информации с помощью ЭВМ, что дало возможность установить достоверные корреляционные связи и регрессионные зависимости между экологическими факторами среды (солнечная радиация, температура, влага) и структурно-функциональными характеристиками лесных фитоценозов.

Широкую известность в нашей стране и за рубежом получили работы Е. А. Сидоровича по оценке антропогенной нарушенности природных экосистем, основанной на комплексном использовании ботанических, физиолого-биохимических и почвенных критериев. При этом установлено, что прямое воздействие токсикантов на хвою и листья, ветви и ствол дерева менее опасно для древостоя (при определенных условиях они способны к самоочищению) в сравнении с непрямым – через почву (ведет к физиологическим нарушениям, к ослаблению, и, в конечном счете, гибели деревьев). А используемые фитоиндикационные методы значительно снижают себестоимость выполняемых работ и по качеству полученной информации несколько не уступают традиционным физико-химическим методам. Были установлены адаптационные возможности и фитоиндикационная значимость растительных комплексов в промышленно развитых регионах Беларуси, разработан и внедрен для практического использования на отраслевом уровне «Ассортимент аборигенных и интродуцированных деревьев и кустарников, рекомендуемых для озеленения промышленно-городских территорий и авто-

магистралей в зонах загрязнения воздуха газообразными соединениями азота, формальдегидом, бенз(а)пиреном и хлористым водородом».

С 2004 г. в научной тематике лаборатории сформировалось еще одно важное для народного хозяйства республики направление исследований в области индустриальной экологии, связанное с разработкой научных основ биологического этапа рекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений, реализуемое совместно с сотрудниками лаборатории химии растений. При этом изучалось влияние не только минеральных удобрений, но и отечественных бактериальных препаратов. Преимуществом разработанной биотехнологии является комплексный подход, позволяющий восстановить плодородие выработанных торфяных месторождений, снизить затраты на приобретение и внесение минеральных удобрений, получить экологически чистую, экономически выгодную, экспортоориентированную ягодную продукцию.

Антропогенная трансформация природной среды – одна из острейших проблем современности. Особо в этом отношении выделяются подверженные интенсивному техногенному воздействию природно-растительные комплексы вдоль автомобильных дорог. Совместно с БелДорНИИ Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь разработан дорожный методический документ ДМД 02191.3.019-2009 «Устройство и содержание техногенно устойчивых снегозадерживающих древесно-кустарниковых насаждений вдоль автомобильных дорог общего пользования», практическая значимость которого заключается в разработке научных основ для создания вдоль основных транспортных магистралей Беларуси новых древостоев, способных выдерживать усиливающийся антропогенный пресс и снижать вредное воздействие транспорта на окружающую среду. Позднее он в переработанном и отредактированном виде вошел составной частью в ТКП 337/ОР (33200) «Автомобильные дороги. Правила благоустройства и озеленения».

Значительное внимание уделял Евгений Антонович подготовке научной смены, созданию научной школы в области экологической физиологии растений и охраны окружающей среды. Под его руководством защищены 17 кандидатских и 6 докторских диссертаций. Ученики Е. А.

Сидоровича работают во многих научных учреждениях нашей республики и стран СНГ, имеют уже своих учеников.

На протяжении многих лет Е.А. Сидорович осуществлял большую научно-организаторскую работу, являясь председателем Регионального совета ботанических садов Республики Беларусь, членом Научного совета РАН по биогеоценологии и охране природы, вице-президентом Ботанического общества Республики Беларусь, членом научно-технического совета Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, членом редколлегии журнала «Известия Академии наук Беларуси», членом редколлегии сборника научных трудов «Ботаника (исследования)», членом специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Научная и общественная деятельность Е. А. Сидоровича получила высокую оценку – он награжден орденом «Знак Почета» (1976), медалями «За доблестный труд» (1972), «Грегора Менделя» (1985), «Франциска Скорины» (1998), в связи с 80-летием НАН Беларуси (2010), Почетными грамотами Верховного Совета БССР, Совета Министров Республики Беларусь, Президиума НАН Беларуси и др.

Сердце настоящего белорусского ученого – лесоведа, фитоценолога, промышленного ботаника, эколога, интродуктора перестало биться 25 января 2017 г. Светлая память о Евгении Антоновиче Сидоровиче – выдающемся ученом, прекрасном человеке, талантливом педагоге навсегда останется в нашей памяти, в сердцах его друзей, коллег и учеников.

9–10 марта 2023 г. в г. Минске на базе Центрального ботанического сада НАН Беларуси состоялась Международная научная конференция, посвященная 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е. А. Сидоровича, в которой приняли участие 138 представителей научно-исследовательских учреждений, ВУЗов, министерств и ведомств Беларуси, России, Азербайджана, Грузии, Молдовы, Узбекистана. Проведение конференции не только дало возможность обменяться накопленным опытом по оценке и прогнозированию изменений природной и антропогенной нарушенности растительных сообществ, но и стало данью уважения памяти этого выдающегося ученого нашей страны.

А. П. Яковлев, Ж. А. Рупасова, Л. В. Гончарова, П. Н. Белый

ПОТЕРИ НАУКИ OBITUARY

СВЕТЛАНА ИОСИФОВНА БЕЛЬСКАЯ (1937–2023)



13 апреля 2023 г. не стало Светланы Иосифовны Бельской – известного белорусского специалиста в области фитопатологии, иммунологии и микологии, кандидата биологических наук, ведущей лабораторией микологии Института экспериментальной ботаники с 1988 по 1993 гг.

Светлана Иосифовна – ученица заслуженного деятеля науки Белорусской ССР, лауреата Государственной премии СССР академика Николая Афанасьевича Дорожкина, более 45-ти лет возглавляла в Беларуси научные исследования по биоэкологии и таксономии возбудителей болезней картофеля, овощных и сельскохозяйственных культур, вела разработку теоретических вопросов иммунитета культурных растений, была

одним из создателей комплексной системы защиты растений от болезней.

Светлана Иосифовна – дочь знаменитого партизанского командира, Героя Советского Союза, а впоследствии видного государственного деятеля Белорусской ССР, Иосифа Александровича Бельского. После войны семья Бельских обосновалась в Минске. Светлана Иосифовна рано потеряла отца – тот умер в 1966 г. Его имя носит школа № 149, одна из улиц Фрунзенского района г. Минска и улица г. Борисова.

После окончания средней школы в 1954 г. С. И. Бельская, поступив на биологический факультет Белорусского государственного университета, уже в первых своих студенческих научных работах опубликовала результаты изучения вопросов расового состава возбудителя фитофтороза картофеля. В дальнейших исследованиях ею были выявлены и исследованы новые для Беларуси болезни картофеля, впервые проведены исследования смешанных гнилей картофеля при хранении, составлены карты распространения и вредоносности клубневых гнилей и заложены основы зональной системы защиты картофеля.

Светлана Иосифовна активно участвовала в разработке мероприятий, направленных на максимальное снижение потерь урожая от болезней, исследовала наиболее актуальные вопросы иммунитета и действия химических препаратов на возбудителей мокрой и сухой гнилей. На основе результатов этих исследований были разработаны эффективные методы оценки картофеля на устойчивость к гнилям.

Под ее руководством было проведено изучение взаимоотношений микроорганизмов, вызывающих клубневые гнили, с микобиотой ризосферы, создана коллекция бактерий-антагонистов, которые обладали широким спектром действий против возбудителей болезней сельскохозяйственных растений, был разработан первый в

Беларуси биопрепарат для защиты растений – «Миколин».

Сложно перечислить то многое, что сделано С. И. Бельской в области фитопатологии кормовых культур.

Ею было опубликовано более 160 работ, в том числе 9 монографий, получены патенты и авторские свидетельства на изобретения.

С. И. Бельская успешно сочетала научную, производственную, педагогическую работу с обширной общественной деятельностью, была активной участницей многих координационных советов, конференций, симпозиумов и съездов. Большое внимание уделяла работе с молодыми специалистами. Под ее руководством были за-

щищены кандидатские диссертации и сформирована тематическая группа с участием высококвалифицированных специалистов–фитопатологов.

Научные достижения С. И. Бельской неоднократно экспонировались на выставках достижений народного хозяйства СССР и БССР, где были удостоены золотых и серебряных медалей и отмечены грамотами. В 1986 г. она была награждена медалью «За трудовую доблесть».

Жизненный путь С. И. Бельской является примером преданного служения науке. Ее наследие – большой вклад в развитие отечественной фитопатологии, иммунологии и защиты растений.

Благодарная память о Светлане Иосифовне Бельской навсегда сохранится в наших сердцах.

Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева

ИВАН ИВАНОВИЧ ЛИШТВАН
(1932–2023)

17 февраля 2023 г. ушел из жизни ученый в области коллоидной химии, физикохимии торфа, природопользования, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института природопользования Иван Иванович Лиштван.

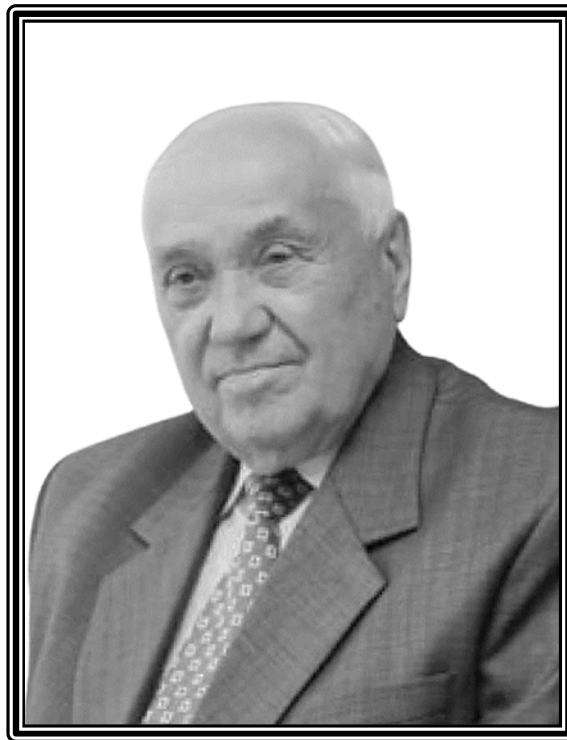
Иван Иванович родился в крестьянской семье 3 ноября 1932 г. в д. Большая Дайнова Воложинского района Минской области. В 1956 г. окончил с отличием торфяной факультет Белорусского политехнического института, после чего работал на инженерных должностях на торфопредприятии «Березинское» Молодечненского района Минской области. В 1958 г. по направлению Академии наук Беларуси поступил в целевую аспирантуру Московского торфяного института. Параллельно с обучением в аспирантуре прошел курс коллоидной химии в МГУ имени М. В. Ломоносова под руководством академика П. А. Ребиндера и прослушал курсы лекций по основным химическим дисциплинам.

В 1961 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Физико-химические основы управления структурно-реологическими свойствами торфа и гуминовых веществ». В этом же году Московский торфяной институт был переведен в г. Тверь, где на его базе организован Калининский торфяной институт, в котором И. И. Лиштван проработал до 1973 г.

В 1969 г. И. И. Лиштван успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в природных системах с целью регулирования их свойств». В этом же году он организовал кафедру физики и химии торфа, став её заведующим. В 1971 г. ему присвоено звание профессора.

В 1973 г. И. И. Лиштван приглашен в Академию наук БССР в качестве директора Института торфа. Здесь им была организована лаборатория физико-химической механики природных дисперсных систем, где он являлся бессменным руководителем. В 1990 г. институт по инициативе И. И. Лиштвана был преобразован в Институт проблем использования природных ресурсов и экологии АН БССР, директором которого он работал по 1997 г. С ноября 1997 г. И. И. Лиштван являлся почетным директором этого института.

В 1974 г. И. И. Лиштван избран членом-корреспондентом, а в 1980 г. – академиком НАН Беларуси. С 1988 по 1992 гг. работал вице-прези-



дентом АН БССР, с 1992 по 2002 гг. – академиком-секретарем Отделения химических наук и наук о Земле НАН Беларуси, по линии Президиума НАН Беларуси координировал научные работы по охране окружающей среды, природопользованию и экологии.

Проводил научные исследования по физикохимии природных дисперсных систем, природопользованию и охране окружающей среды. Развил представления по реологии, структурообразованию, диспергированию и модифицированию природных систем. Установил комплекс факторов, определяющих структуру торфа. Исследовал гидрофильность, тепломассоперенос и реологию органогенных природных дисперсных материалов. Предложил классификацию торфа по содержанию катионов и сорбированной влаги, уравнения для расчета основных признаков состава и свойств торфа. Разработал основы физико-химической механики торфа. Установил закономерности переноса влаги и ионов при сушке и промерзании торфа. На основе предложенной промышленно-генетической классификации торфа выделил основные направления его использования в экономике. Изучал миграцию и диффузию радионуклидов в природных средах. Исследовал главные экологические проблемы и особенности природопользования в Республике Беларусь.

Академик И. И. Лиштван был активным участником разработки общей стратегии устойчивого развития и энергетической безопасности Республики Беларусь, научным руководителем приоритетных программ «Экологическая безопасность», «Природные ресурсы и окружающая среда», координатором работ по технико-экономическому обоснованию и формированию заданий по использованию торфа, бурых углей, горючих сланцев в топливно-энергетическом комплексе Беларуси, руководителем научного раздела государственной программы «Торф»; работал над проблемой освоения месторождений и переработки бурых углей Республики Беларусь, являлся руководителем ряда проектов государственной программы «Малотоннажная химия», в рамках которой создано промышленное производство новых материалов на основе гуминовых веществ торфа, сапропелей, лигнина, бурых углей, используемых в сельском хозяйстве, для охраны окружающей среды и медицинских целей.

В рамках выполнения государственных программ И. И. Лиштван постоянно инициировал решение задач экологического и биологического профиля. При его активном участии были развернуты широкомасштабные исследования по оценке состояния лесных экосистем в зоне воздействия Солигорского промрайона, где впервые применены технологии дистанционного зондирования для изучения природной среды. Он был активным сторонником комплексного изучения торфяников, где растительному покрову отводилась ключевая роль в индикации природных процессов. Значительное внимание в тематиках научно-технических программ, которые возглавлял И. И. Лиштван, уделялось сохранению биологического разнообразия Беларуси как на видовом, так и на ценотическом и экосистемном уровнях.

Научные достижения И. И. Лиштвана широко признаны как в Беларуси, так и далеко за её пределами. Он являлся иностранным членом Польской академии наук, Горной академии России, почетным членом Международного торфяного общества. В 1982 г. награжден орденом Дружбы

народов, в 1988 г. орденом Франциска Скорины, в 2009 г. медалью «За трудовые заслуги». Награждался Почетными Грамотами Национального собрания Республики Беларусь (2002 г.), Совета Министров Республики Беларусь (2002 г.), Парламентского собрания Союза Беларуси и России (2002 г.). За цикл работ по диагностике состояния природной среды на основе аэрокосмических, лидарных, наземных и химико-аналитических методов и средств ему присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники за 2002 г. Лауреат премии академий наук Украины, Беларуси и Молдовы (1997 г.) в составе авторского коллектива.

И. И. Лиштван являлся сопредседателем комиссии Парламентского собрания Союза Беларуси и России по вопросам экологии, природопользования и ликвидации последствий аварий, работал председателем и членом советов по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук при Институте природопользования НАН Беларуси, Институте общей и неорганической химии НАН Беларуси, Тверском государственном техническом университете, был членом бюро научного совета РАН по коллоидной химии, физико-химической механике и химии твердого топлива, главным редактором журнала «Природные ресурсы». Являлся членом редколлегии журналов «Известия НАН Беларуси. Серия химических наук», «Коллоидный журнал», «Химия твердого топлива», «Химия в интересах устойчивого развития», «Промышленная безопасность», «Торф и бизнес», «Химия и технология воды», «Энергетическая стратегия», «Энергоэффективность».

И. И. Лиштван подготовил 7 докторов и 45 кандидатов наук. Является автором более 1300 научных работ, в том числе 54 монографий, брошюр, учебных пособий, им получено 98 авторских свидетельств и патентов.

Иван Иванович Лиштван прожил яркую плодотворную жизнь, реализовал и приумножил свой талант. Светлая память об ученом и личности остается с нами навсегда.

*Подготовлено редколлегией сборника «Ботаника (исследования)»
по материалам <https://csl.bas-net.by/personalii/66028/lishtvan-ivan-ivanovich/>*

АНАТОЛИЙ СЕМЕНОВИЧ МЕЕРОВСКИЙ
(1936–2023)

25 января 2023 г. ушел из жизни известный белорусский ученый-почвовед, доктор сельскохозяйственных наук, лауреат Государственной премии БССР в области науки и техники, профессор Анатолий Семенович Мееровский. Без преувеличения можно сказать, что с его уходом белорусская наука потеряла крупнейшего в республике специалиста по вопросам мелиоративного почвоведения, экологии почв и луговодства, внесшего значительный вклад в разработку на законодательном уровне стратегии повышения плодородия и эффективного сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, и в первую очередь, торфяных почв в Беларуси.

Все годы творческой научной и научно-организационной деятельности Анатолия Семеновича Мееровского, выпускника геолого-географического факультета Белорусского государственного университета, ученика академика И. С. Лупиновича, до последнего дня жизни были посвящены науке о земле в широком спектре ее проблем, в ряду которых основным для А. С. Мееровского всегда оставались вопросы изучения особенностей почвенных процессов, освоения, плодородия и рационального сельскохозяйственного использования осушаемых земель республики.

Последовательно проходя ступени научного и должностного роста – техник-почвовед, геоботаник, агроном почвенного отряда, младший научный сотрудник (1954–1961 гг.), аспирант (1961–1965 гг.), старший научный сотрудник (1965–1970 гг.), заведующий отделом (лабораторией) мелиоративного почвоведения (позже лабораторией плодородия мелиорированных почв) (1970–1993 гг.) и заместитель директора по научной работе (1975–1977 гг.) в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии; заместитель директора по научной работе и заведующий лабораторией селекции и семеноводства многолетних трав в Институте мелиорации и луговодства (1993–2008 гг.) – Анатолий Семенович непрерывно углублял и расширял объем знаний, теоретических и практических наработок в избранных им областях мелиоративного почвоведения и луговодства. В 1966 г. он защищает кандидатскую диссертацию, в 1991 г. ему присваивается научная степень доктора сельскохозяйственных наук, а в 1992 г. – научное звание профессора. Заслуженной оценкой вклада А. С. Мееровского в развитие и разработку научных основ мелиоративного земледелия стало присуждение ему в 1976 г. Государственной премии БССР в области науки и техники, а в 2003 г. – Премии Национальной академии наук Беларуси.

Исследования, проведенные Анатолием Семеновичем и руководимым им научным коллективом, охватывают широкий спектр сельскохозяйственных аспектов мелиорации почв, обосновывают теорию комплексного регулирования и управления почвенными процессами. Значительная часть научных трудов А. С. Мееровского посвящена вопросам удобрения многолетних трав, сенокосов и пастбищ, взаимосвязи почва-растение, использованию экологического потенциала осушенных почв, развитию направления преимущественного возделывания многолетних трав на осушенных землях. Существенный вклад внес Анатолий Семенович в разработку и внедрение дифференцированных систем удобрений на осушенных почвах, которые включают вопросы известкования, применения органических и минеральных удобрений, в том числе микроудобрений.

А. С. Мееровский – один из авторов концепции освоения и рационального использования почв мелиоративного фонда, сформулированной в «Основных направлениях развития мелиорации земель и их использования в Республике Бе-

ларусь», активный участник разработки многочисленных комплексных программ, схем и прогнозов, касающихся эволюции мелиорированных почв и изменения их продуктивности, активный участник разработки законов «О мелиорации земель» (2008), «Об охране и использовании торфяников» (2019), Государственных программ «Сохранение и использование мелиорированных земель на 2000–2005 и 2006–2010 гг.». Под его руководством сформулированы основные положения зональной системы луговодства, основанной на использовании природного разнообразия луговой растительности.

Анатолий Семенович много и плодотворно трудился и как научный руководитель ряда государственных фундаментальных программ. При его активном участии совместно со специалистами Министерства сельского хозяйства и плодородия Республики Беларусь разработана и реализована программа создания многокомпонентных пастбищ интенсивного типа. В сотрудничестве с учеными-ботаниками, физиологами растений и микробиологами Национальной академии наук Беларуси (Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича, Институт микробиологии) под руководством А. С. Мееровского были разработаны и внедрены в отраслевое производство технологии выращивания продуктивных и устойчивых бобово-злаковых травосмесей на мелиорированных минеральных и торфяных почвах, а также разработаны оптимальные составы и режимы пользования долголетних агроценозов с устойчивым сохранением в травостоях высокобелковых видов бобовых трав.

В издательском списке работ А. С. Мееровского более 700 научных публикаций, включая 18 монографий, 5 свидетельств на изобретение и патент.

Много сил и энергии отдавал Анатолий Семенович подготовке научных кадров, успешно сочетая ее с научно-исследовательской работой. Под его руководством подготовлено и защищено 20 кандидатских диссертаций. В течение 2012–2017 гг. он являлся председателем ученого совета по защите диссертаций Д 01.53.01 при РУП «Институт мелиорации», членом редакционных коллегий ряда фундаментальных научных изданий. Многие из учеников научной школы А. С. Мееровского успешно продолжают трудиться в научно-исследовательских структурах аграрного сектора белорусской науки.

Об оценке трудовых успехов А. С. Мееровского свидетельствуют его государственные награды: орден «Знак Почета» (1973 г.), Грамота Верховного Совета БССР (1981 г.), медаль «Ветеран труда», многочисленные почетные грамоты министерств и научных учреждений.

Приносим искренние соболезнования родным и близким Анатолия Семеновича Мееровского в связи с утратой дорогого им человека.

В памяти его коллег, учеников и всех, кто соприкасался с Анатолием Семеновичем по делам науки, совместной работы, общественных собраний и мероприятий, консультаций и просто личных бесед, навсегда сохранится образ талантливого, энциклопедически образованного, беззаветно преданного науке ученого и светлого, доброжелательного человека.

А. Л. Бирюкович, Т. А. Будкевич, Д. Г. Груммо

ХРОНИКА CHRONICLE

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ВЕДЕНИЯ КАДАСТРОВ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ»

В период с 26 июня по 2 июля 2023 г. *Институтом экспериментальной ботаники НАН Беларуси организован и проведен Международный научно-практический семинар «Научные основы ведения кадастров растительного мира в целях устойчивого использования и сохранения природных ресурсов»* на базе государственных природоохранных учреждений «Березинский биосферный заповедник» (Витебская обл., Лепельский р-н, д. Домжерицы) и «НП «Нарочанский» (Минская обл., Мядельский р-н, к.п. Нарочь).

Цель проведения семинара – ознакомление и обучение участников семинара с методами метапопуляционного моделирования численности и состояния популяций редких и исчезающих, инвазивных видов растений, существующими подходами к оценке ресурсного потенциала видов хозяйственно полезных растений, определение роли кадастров растительного мира в современных условиях, обмен опытом ведущих специалистов в области охраны и рационального использования биологического разнообразия, расширение научных связей между НАН Беларуси и НАН Республики Казахстан, а также ВУЗами.

Данный семинар явился продолжением международного научного сотрудничества по внедрению белорусского опыта создания Государственного кадастра растительного мира Республики Беларусь на территории Республики Казахстан.

В работе приняли участие 35 участников, представляющих научно-исследовательские и природоохранные учреждения, высшие учебные заведения Республики Беларусь и Республики Казахстан. Было представлено 14 пленарных и секционных докладов, а также 7 докладов в рамках проведения научно-практических тренингов.

В рамках семинара сотрудниками Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (к.б.н. О. М. Масловским, к.б.н. И. П. Сысой, к.б.н. Л. С. Чумаковым) проведены полевые тренинги на конкретных природных объектах по практическим аспектам применения методик учета, мониторинга, устойчивого использования и охраны различных объектов растительного мира.

Участниками семинара был организован и проведен **круглый стол: «Взаимодействие кадастров растительного мира Республики Казахстан и Республики Беларусь»**, на котором обсуждены научные основы, направления и практическое значение ведения кадастров растительного мира, а также механизмы и перспективные области развития научно-технического сотрудничества между учреждениями Казахстана и Беларуси, подготовка проектов совместных исследований, обсуждены возможности и проблемы экспорта научно-технической продукции. Определено место и роль кадастров растительного мира в системе государственного планиро-



вания природоохранных мероприятий. В настоящее время Государственные кадастры растительного мира Беларуси и Казахстана являются главным инструментом в управлении ресурсами растительного мира.

В ходе работы семинара обсуждение по различным направлениям изучения растительных объектов в рамках ведения кадастров растительного мира позволило обменяться новыми знаниями и опытом проведения исследований, получить дополнительную информацию о достижениях в области сохранения и рационального использования биологического разнообразия, новых подходах и методах решения актуальных задач.

Участники семинара отметили необходимость разработки и применения новых наземных и дистанционных методов и технологий мониторинга, сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, развития ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования Земли при ведении и научном обеспечении Государственных кадастров растительного мира.

В целях содействия дальнейшему развитию ботанических исследований и научного сопровождения Государственных кадастров растительного мира участниками семинара принята итоговая резолюция, основными пунктами которой являются:

– Признать высокую роль кадастров растительного мира в системе государственного планирования природоохранных мероприятий.

– Отметить необходимость более активной кооперации ученых Республики Беларусь и Республики Казахстан с целью обмена научной информацией и опытом, участия в совместных научных конкурсах и проектах, повышения качества научных публикаций, формирования региональных и международных рабочих групп.

– Принято решение о подготовке проектов совместных исследований по 6 научным направлениям.

– Продолжить международное научно-техническое сотрудничество по ведению и научному сопровождению Государственных кадастров растительного мира Республики Беларусь и Республики Казахстан.

– Считать важным привлечение молодых ученых в научные коллективы ведущих научных центров Республики Беларусь и Республики Казахстан для участия в проведении современных исследований с целью повышения подготовки молодых научных кадров.

– Следующий II Международный научно-практический семинар «Научные основы ведения кадастров растительного мира в целях устойчивого использования и сохранения природных ресурсов» провести в 2025 году.

– Инициировать проведение в 2024 году совместной международной ботанической экспедиции в Республику Казахстан.

К началу работы семинара изданы методические материалы по трем направлениям:

– Метапопуляционное моделирование пространственной структуры, численности и состояния популяций редких и исчезающих видов растений Беларуси.

– Методика оценки ресурсного потенциала видов хозяйственно-полезных растений.

– Методические указания и рекомендации по учету и мониторингу инвазивных видов растений.

Проведенный международный научно-практический семинар стал новым этапом в развитии научно-технического сотрудничества между Беларусью и Казахстаном в области ботаники.

*Оргкомитет Международного научно-практического семинара
«Научные основы ведения кадастров растительного мира в целях устойчивого использования и сохранения природных ресурсов»*

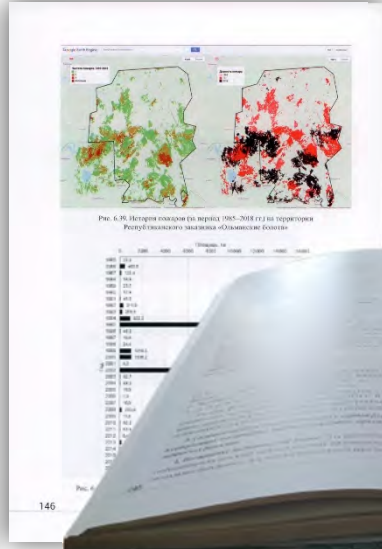
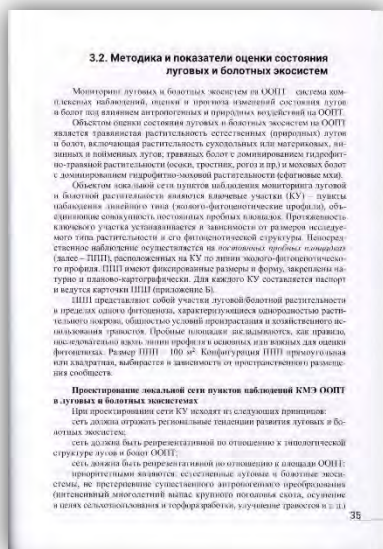
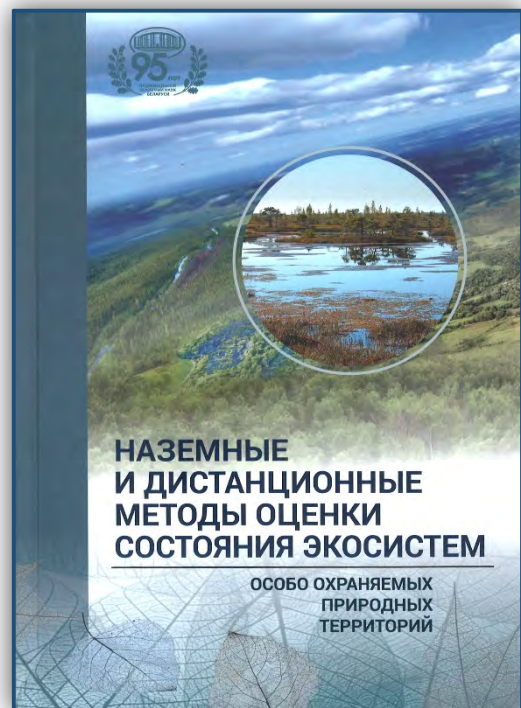


АННОТАЦИИ НОВЫХ КНИГ NEW BOOKS DESCRIPTIONS

НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий / Д. Г. Груммо [и др.] ; под общ. ред. Д. Г. Груммо, А. В. Судника ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 351 с. – ISBN 978-985-08-2985-6.

В монографии приводится концепция, представлены наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем и угроз биологическому разнообразию при проведении комплексного мониторинга естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. При ведении данного вида мониторинга НСМОС обеспечивается контроль по немногочисленным простым и недорогим в определении параметрам, используемым для оценки региональных тенденций и трендов в развитии экосистем ООПТ, а также особенностей пространственного проявления этих процессов. Практической целью работ является регулярный сбор данных о состоянии естественных (лесных, луговых, болотных и водных) экосистем, о степени и интенсивности их повреждения природными и антропогенными факторами, а также о динамике выявленных угроз функционированию экосистем и биоразнообразию ООПТ на основе данных дистанционного зондирования Земли.



БРИОФЛОРА ПОЛЕСЬЯ

Рыковский, Г. Ф. Бриофлора Полесья / Г. Ф. Рыковский, М. С. Малько, А. А. Сакович; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 349 с. – ISBN 978-985-08-3032-6.

Монография представляет собой обобщение многолетних исследований бриофлоры Деснянско-Днепровско-Припятского Полесья – обширного физико-географического региона. Проведен таксономический, географический и созологический анализ Полесского региона, а также экологический, включающий обзор субстратных и эколого-ценотических групп, форм роста и жизненных стратегий. Рассмотрены исторические пути формирования флоры региона. Представлены оригинальные размышления о флорогенезе и эволюции мохообразных, в том числе анализ морфоструктуры таксономических групп в эволюционном аспекте с точки зрения адаптации к разным видам субстратов, стратегия развития экологических групп мохообразных, эволюционные аспекты становления бриофлористических комплексов Полесья. Работа вносит существенный вклад в изучение бриофлоры Полесья, значительно расширяет знания об экологии и эволюции мохообразных, представляет интерес для специалистов в области ботаники, экологии, рационального природопользования и студентов вузов.

Книга посвящена выдающемуся ученому – ботанику-эволюционисту, бриологу, доктору биологических наук *Геннадию Феодосьевичу Рыковскому*.

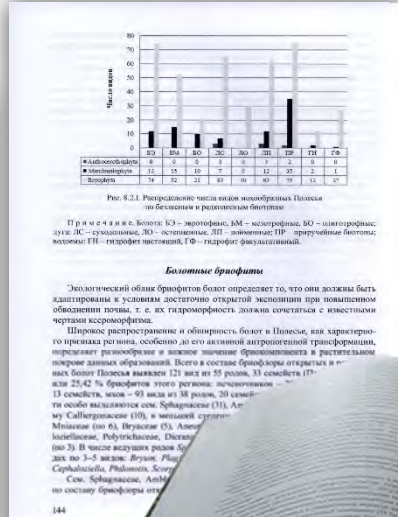


Table with 2 columns: Vegetation Type and Species Count. The table lists various vegetation types and their corresponding species richness values.



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ REQUIREMENTS FOR AUTHORS

1. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.
2. Основным условием публикации статей является их соответствие профилю издания, новизна и информативность содержания. Статьи принимаются редакцией и издаются на **русском, белорусском и английском языках**. Объем научной статьи не должен превышать 7 тыс. слов, или **~40 тыс. знаков**, иной объем необходимо согласовать с редакцией заранее. Объем статей о персоналиях должен составлять не более 1 тыс. слов, или 6–7 тыс. знаков.
3. Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге (в 2-х экземплярах) с подписями всех авторов. На отдельных листах прилагаются:
 - 3.1. Сведения на русском (белорусском) и английском языках с фамилиями, именами, отчествами авторов, указанием их должности, научной степени и звания; полным названием учреждения, почтовым и электронным адресом и телефоном для сообщений.
 - 3.2. Акт экспертизы и сопроводительное письмо руководства или выписка из протокола заседания ученого совета (отдела, кафедры) учреждения, в котором выполнялась работа.
 - 3.3. Статьи с материалами о новых таксонах, как и статьи о новых флористических находках на территории Беларуси обязательно должны сопровождаться актом передачи типа/изотипа таксонов, либо дубликата образца в фонд Гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси.
4. В электронном варианте работа предоставляется в редакцию в формате *.docx, *.doc, *.rtf. Название файла – фамилия первого автора. Формат страницы – **A4**, книжная ориентация, все поля – **2,2 см**. Шрифт – **Times New Roman**, межстрочный интервал – **1,0**, кегль шрифта **12**, абзацный отступ – **0,5 см**, выравнивание по ширине, автоматические переносы – отключены.
5. Структурные элементы статьи должны располагаться в следующей последовательности:
 - 5.1. Индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК).
 - 5.2. Инициалы и фамилии авторов.
 - 5.3. Название статьи. В названии статьи, как и во всем тексте, типовые названия растений дублируются на латыни. Латинское название родов и видов печатается *курсивом*, ссылка на автора прямым шрифтом.
 - 5.4. Полное наименование учреждений с указанием города, страны, адреса электронной почты одного из авторов. Если статья оформляется несколькими учреждениями, то после ФИО каждого автора ставится верхний цифровой индекс (¹, ², ³), он же ставится перед названием учреждения.
 - 5.5. Аннотация (кратко и информативно излагаются цели, методы и результаты работы (**100–200 слов**) с **ключевыми словами** (не дублируют название, а отражают содержание текста в терминах объектов, научной отрасли и методов исследования – **5–8 слов или словосочетаний**).
 - 5.6. Далее в русско- и белорусскоязычных статьях на *английском языке* полностью приводятся все данные, предшествующие основному тексту статьи (пп. 5.1–5.5: авторы, название статьи, учреждения и аннотация); в англоязычных статьях вышеуказанные данные приводятся на *русском (белорусском) языке*.
 - 5.7. Основной текст статьи, содержащий рубрики: «Введение», «Объекты (материалы) и методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Заключение». Графический материал и таблицы вставляются в основной текст, общее их количество, как правило, не должно превышать **8–10**. В русско- и белорусскоязычных статьях заголовки таблиц (в т.ч. колонок) и подрисуночные подписи даются на *русском (белорусском) и английском языках*.

5.8. Под заголовком «Благодарности» («Падзяка») или «Acknowledgements» сообщается информация о финансовой поддержке проектов грантами, а также о консультативной или методической помощи в проведении исследований.

5.9. Литература (цитируемые источники) – как правило, **от 15 до 40 ссылок**, приводятся общим списком **в порядке упоминания**, в тексте представлены порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1], [2, 3]). Список оформляется **в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003)**. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Нумерация списка – не автоматическая!

6. Прочие технические требования:

6.1 Не допускается изменения стандартных положений колонтитулов!

6.2. Для формул используется формульный редактор Word.

6.3. Вставку специальных символов выполнять через меню «Вставка / Символ».

6.4. Верхний и нижний индексы (C4, C2) выполнять через меню «Шрифт / Верхний индекс», «Шрифт / Нижний индекс».

6.5. Символы химических элементов (Na, Fe, Cl и др.) набираются прямым шрифтом.

6.6. Между цифрами всегда ставится тире (–) без пробелов.

6.7. Графический материал вставляется в текст без сжатия рисунков. Редакция вправе затребовать графический материал в виде отдельных файлов.

7. Поступившие в редакцию рукописи регистрируются, рассматриваются на соответствие профилю издания, соблюдение правил оформления и направляются на рецензирование. По рекомендации рецензента рукописи могут быть возвращены авторам на доработку. Переработанные статьи передаются редколлегии для принятия решения о публикации их в очередном выпуске сборника.

8. **Электронный вариант статьи** предоставляется в редакцию только по электронной почте: **botanika.issledovaniy@gmail.com**.

9. Материалы в печатном виде с подписями и всеми сопроводительными документами следует направлять по адресу: Республика Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 27; Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, редакция сборника научных трудов «Ботаника (исследования)». Каб. 307, 301. Тел. для справок: +375 17 374 00 27, +375 17 378 25 14.

Научное издание

**БОТАНИКА
(ИССЛЕДОВАНИЯ)**

Выпуск 52

Ответственный за выпуск *Е. С. Патей*
Фото на обложке *Р. В. Цвирко*
Компьютерная верстка *Н. А. Зеленкевич*

Подписано в печать 10.10.2023.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 40,0. Уч.-изд. л. 27,1.
Тираж 130 экз. Заказ № 23673.

Выпущено по заказу
государственного научного учреждения
«Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси»

Издатель и полиграфическое исполнение:
общество с ограниченной ответственностью «Колорград».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/471 от 28.07.2015.

Пер. Велосипедный, 5-904, 220033, г. Минск,

+375 17 361 91 40
post@segment.by
segment.by