

ISSN 2221-9927

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

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

ОБЩЕСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

БОТАНИКА

(ИССЛЕДОВАНИЯ)

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

В ы п у с к 57

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
«ИВЦ Минфина»
2026

Ботаника (исследования): сборник научных трудов / Национальная академия наук Беларуси, Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Ботаническое общество. – Мн., 2026. – Выпуск 57. – 262 с. – ISSN 2221-9927.

Научный редактор:

Николай Афанасьевич Ламан – академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Редакционная коллегия:

- 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. В. Демидчик* – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- 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)
- Г. Т. Ситпаева* – академик Казахской НАЕН, доктор биологических наук,
Институт ботаники и фитоинтродукции Республики Казахстан (Алма-Аты, Казахстан)
- 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)
- Д. Г. Груммо* – доктор биологических наук, доцент,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Н. С. Гурина* – доктор биологических наук, профессор,
Белорусский государственный медицинский университет (Минск, Беларусь)
- О. М. Масловский* – доктор биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- С. С. Медведев* – доктор биологических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)
- О. И. Родькин* – доктор биологических наук, доцент, Международный государственный
экологический институт имени А. Д. Сахарова БГУ (Минск, Беларусь)
- Ю. А. Семенищенков* – доктор биологических наук, профессор,
Брянский государственный университет имени акад. И. Г. Петровского (Брянск, Россия)
- О. В. Созинов* – доктор биологических наук, доцент,
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы (Гродно, Беларусь)
- Д. Б. Беломесяцева* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- О. А. Иванов* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- А. В. Пугачевский* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- С. С. Савчук* – кандидат биологических наук, доцент,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Т. В. Самович* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)
- Р. В. Цвирко* – кандидат биологических наук,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

Ответственный секретарь:

Наталья Алексеевна Зеленкевич – кандидат биологических наук, доцент,
Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

© Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, 2026

ISSN 2221-9927

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

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

SOCIAL ASSOCIATION “BOTANICAL SOCIETY”

BOTANY

(RESEARCH)

COLLECTION OF SCIENTIFIC TRANSACTIONS

Issue 57

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
"CIC of the MinFin"
2026

Botany (research): collection of scientific transactions / National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus, Botanical Society. – Minsk, 2026. – Issue 57. – 262 p. – ISSN 2221-9927.

Scientific editor:

Nikolay Afanasyevich Laman – Academician (NAS), D. Sc. (Biology), Full Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)

Editorial board:

- | | |
|-------------------------------|--|
| <i>P. V. Krestov</i> | – Corresponding Member (RAS), D. Sc. (Biology),
Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the RAS (Vladivostok, Russia) |
| <i>N. V. Lukhyna</i> | – Corresponding Member (RAS), D. Sc. (Biology),
Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS (Moscow, Russia) |
| <i>V. V. Demidchik</i> | – Corresponding Member (NAS), D. Sc. (Biology), Full Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>V. N. Prokhorov</i> | – Corresponding Member (NAS), D. Sc. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>V. V. Titok</i> | – Corresponding Member (NAS), D. Sc. (Biology),
Central Botanical Garden of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>G. T. Sytpaeva</i> | – Academician (KNANS), D. Sc. (Biology),
Institute of Botany and Phytointroduction of Kazakhstan (Alma-Ata, Kazakhstan) |
| <i>Yu. K. Vynogradova</i> | – D. Sc. (Biology), Full Professor,
N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS (Moscow, Russia) |
| <i>D. V. Heltman</i> | – D. Sc. (Biology), Full Professor,
V. L. Komarov Botanical Institute of the RAS (Saint Petersburg, Russia) |
| <i>D. G. Grummo</i> | – D. Sc. (Biology), Associate Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>N. S. Huryna</i> | – D. Sc. (Biology), Full Professor,
Belarusian State Medical University Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>O. M. Maslovsky</i> | – D. Sc. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>S. S. Medvedev</i> | – D. Sc. (Biology), Full Professor,
Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia) |
| <i>O. I. Rodkin</i> | – D. Sc. (Biology), Associate Professor,
International Sakharov Environmental Institute of BSU (Minsk, Belarus) |
| <i>Yu. A. Semenishchenkov</i> | – D. Sc. (Biology), Full Professor,
I. G. Petrovsky Bryansk State University Russia (Bryansk, Russia) |
| <i>O. V. Sozinov</i> | – D. Sc. (Biology), Associate Professor,
Yanka Kupala Grodno State University (Grodno, Belarus) |
| <i>D. B. Belomesyatseva</i> | – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>O. A. Ivanov</i> | – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>A. V. Puhachevsky</i> | – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>S. S. Savchuk</i> | – Ph. D. (Biology), Associate Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>T. V. Samovich</i> | – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |
| <i>R. V. Tsvirko</i> | – Ph. D. (Biology),
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus) |

Executive Secretary:

Natallia Aliakseeuna Zeliankevich – Ph. D. (Biology), Associate Professor,
Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus (Minsk, Belarus)

© Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus, 2026

Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus, 27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Belarus
Fax +375 (17) 322 18 53, tel. + 375 (17) 378 25 14, e-mail: botanika.issledovaniy@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

95 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ НАН БЕЛАРУСИ

Д. Г. Груммо, А. В. Пугачевский, Н. А. Ламан

Институт экспериментальной ботаники: от истоков создания до современных достижений
(к 95-летию образования учреждения) 9

ФЛОРА И СИСТЕМАТИКА

Д. В. Дубовик, С. С. Савчук, В. Н. Лебедько

Таксономический анализ современного состава аборигенной флоры Беларуси 27

ФИТОЦЕНОЛОГИЯ

Д. Г. Груммо, Р. В. Цвирко, Е. Я. Куликова, Н. М. Rogовский, С. Г. Русецкий, Н. А. Зеленкевич,

Д. Ю. Жилинский, Е. В. Мойсейчик, А. В. Пучило

Современная структура и ботанико-географический анализ растительности Беларуси 36

ЭКОЛОГИЯ ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. В. Пугачевский, А. В. Мандрюк, Я. К. Игнатъев, С. А. Жданович

Климатически детерминированные процессы гибели хвойных лесов Беларуси в условиях
глобального потепления 84

МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

А. В. Судник, Н. Д. Грищенко, И. П. Вознячук, К. Л. Савицкая, О. М. Масловский,

И. В. Бордок, И. В. Маховик, Т. С. Полячок, В. М. Лапицкий, Р. М. Голушко

Основные тенденции изменения и прогноз состояния растительного мира Беларуси по результатам
мониторинга 102

РЕСУРСЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

И. П. Сысой, О. М. Масловский, А. П. Амбросова

Состояние и проблемы использования растительных ресурсов в Беларуси 128

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАЗИИ

О. М. Масловский, В. М. Лапицкий, И. П. Сысой

Основные направления экспансии инвазивных видов растений в Беларуси и прогноз динамики их
распространения 145

В. Н. Прохоров, Е. Н. Карасева, Д. С. Коржова, Т. В. Фролова,

А. В. Бабков, М. М. Сак, А. Н. Гриц, А. Ф. Судник

Инвазионный потенциал агрессивных чужеродных видов растений Беларуси и пути ограничения
их распространения 166

МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ

Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева, С. А. Алейников, А. В. Пенькевич, В. В. Карманова

Развитие микологических исследований в Беларуси: история, современность, перспективы (1830–
2026 гг.) 178

А. П. Яцyna, А. П. Свирид

Лихенобиота Беларуси: таксономическая структура, коллекционные фонды и векторы современных исследований	188
---	-----

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

Н. А. Ламан, Т. В. Самович, Е. Н. Олешук, П. А. Небышинец, И. Н. Ананьева, З. М. Алещенко

Перспективы использования гидролизного лигнина в качестве носителя для получения сыпучих форм микробных препаратов	202
--	-----

Н. А. Еловская, Ж. Н. Калацкая

Нанокмозиты на основе хитозана как экологически безопасные регуляторы процессов устойчивости растений к вирусной инфекции / Н. А. Еловская, Ж. Н. Калацкая	217
--	-----

О. А. Иванов, В. В. Демидчик

Взаимодействие растений и патогенов: роль рецепторных систем, сигнальных каскадов и регуляторных молекул	225
--	-----

О. В. Молчан

Потенциал светодиодного освещения как эффективного инструмента в биотехнологии растений ...	240
---	-----

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	260
----------------------------------	-----

CONTENTS

THE 95th ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF THE NAS OF BELARUS

D. G. Grummo, A. V. Pugachevskiy, N. A. Laman

Institute of Experimental Botany: from the Origins to Modern Achievements (on the 95th Anniversary of the Foundation) 9

FLORA AND SYSTEMATICS

D. V. Dubovik, S. S. Savchuk, V. N. Lebedko

Modern Composition of Belarus's Native Flora: Taxonomic Analysis 27

PHYTOCENOLOGY

D. G. Grummo, R. V. Tsvirko, E. Ya. Kulikova, N. M. Rogovsky, S. G. Rusetski, N. A. Zeliankevich,

D. Yu. Zhilinsky, E. V. Mojsejchik, A. V. Puchilo

Belarus Vegetation Modern Structure and Its Botanical-Geographical Analysis 36

ECOLOGY OF NATURAL PLANT COMPLEXES

A. V. Pugachevskiy, A. V. Mandryk, Ya. K. Ignatiev, S. A. Zhdanovich

Climatically Determined Processes of Coniferous Forest Dieback in Belarus under Global Warming 84

VEGETATION MONITORING

A. V. Sudnik, N. D. Hryshchankava, I. P. Voznyachuk, K. L. Savitskaya, O. M. Maslovsky,

I. V. Bordok, I. V. Makhovik, T. S. Polyachok, V. M. Lapitsky, R. M. Golushko

Main Trends of Changes and Forecasting of Belarus's Vegetation State: Monitoring-Based Insights 102

PHYTOBIOTA RESOURCES

I. P. Sysoi, O. M. Maslovsky, A. P. Ambrosova

The Status and Problems of Plant Resource Use in Belarus 128

BIOLOGICAL INVASIONS

O. M. Maslovsky, V. M. Lapitsky, I. P. Sysoi

Main Directions of Invasive Plant Species Expansion in Belarus and Forecast of Their Distribution 145

V. N. Prokhorov, E. N. Karasiova, D. S. Karzhova, T. V. Frolova, A. V. Babkov, M. M. Sak, A. N. Grits, A. F. Sudnik

Invasive Potential of Aggressive Alien Plant Species in Belarus and Ways to Limit their Spread 166

MYCOLOGY AND PHYTOPATOLOGY

T. G. Shabashova, D. B. Belomesaytseva, S. A. Aleinikau, A. V. Penkevich, V. V. Karmanova

The Evolution of Mycological Research in Belarus: Past, Present, and Future Outlook (1830–2026) 178

A. P. Yatsyna, A. P. Svirid

Lichenobiota of Belarus: Taxonomic Structure, Collection Funds and Vectors of Modern Research 188

PLANTS PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*N. A. Laman, T. V. Samovich, E. N. Oleshuk, P. A. Nebyshinets, I. N. Ananyeva, Z. M. Aleschenkova*

Prospects for Using Hydrolysis Lignin as a Carrier for Obtaining Free-Flowing Forms of Microbial Preparations 202

N. A. Yaloukaya, J. N. Kalatskaja

Chitosan-Based Nanocomposites as Eco-Friendly Regulators of Plant Antiviral Resistance 217

O. A. Ivanov, V. V. Demidchik

Plant-Pathogen Interaction: The Role of Receptor Systems, Signaling Cascades, and Regulatory Molecules 225

O. V. Molchan

LED Lighting as an Efficient Tool in Plant Biotechnology 240

REQUIREMENTS FOR AUTHORS 260

95 ЛЕТ ИНСТИТУТУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ НАН БЕЛАРУСИ

THE 95th ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF THE NAS OF BELARUS

УДК 061.6:57

Д. Г. ГРУММО, А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ, Н. А. ЛАМАН

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ: ОТ ИСТОКОВ СОЗДАНИЯ ДО СОВРЕМЕННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ (К 95-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ УЧРЕЖДЕНИЯ)

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: dm.grummo@botany.by

Аннотация. Статья посвящена истории становления и развития Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси – старейшего академического учреждения биологического профиля в стране. В работе подробно прослежена хронология переименований, организационных трансформаций, основных направлений научных исследований института с момента его основания в 1931 г. до современного периода. Особое внимание уделено роли директоров и научных лидеров в формировании уникальной исследовательской культуры, определении векторов развития организации и преодолении исторических вызовов различных эпох.

Ключевые слова: Институт биологических наук, Институт биологии, Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича, АН БССР, НАН Беларуси, история науки, биологические исследования, хронология, научные руководители, Беларусь, академическая наука, научно-исследовательский институт, юбилей.

D. G. GRUMMO, A. V. PUGACHEVSKIY, N. A. LAMAN

INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY: FROM THE ORIGINS TO MODERN ACHIEVEMENTS (ON THE 95th ANNIVERSARY OF THE FOUNDATION)

Abstract. The article is devoted to the history of the formation and development of the V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, the oldest academic institution of biological profile in the country. The paper traces in detail the chronology of renamings, organizational transformations, and main research areas of the institute from its foundation in 1931 to the modern period. Special attention is paid to the role of directors and scientific leaders in shaping a unique research culture, defining the organization's development vectors, and overcoming the historical challenges of various eras.

Keywords: Institute of Biological Sciences, Institute of Biology, V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, AS BSSR, NAS of Belarus, history of science, biological research, chronology, scientific leaders, Belarus, academic science, research institute, anniversary.

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси – старейшее в стране научно-исследовательское учреждение биологического профиля.

Институт создан в 1931 г. Постановлением Президиума Белорусской академии наук и именовался ранее как Институт биологических наук.

История переименований Института:

с 1931 г. – *Институт биологических наук* (Постановление Президиума Белорусской академии наук от 29.03.1931 и Постановление Совета народных комиссаров БССР № 173 от 13.05.1931);

с 1947 г. – *Институт биологии АН БССР* (Решение Президиума АН БССР о возобновлении деятельности Института биологии, № 26 от 20.12.1947);

с 1963 г. – *Институт экспериментальной ботаники и микробиологии АН БССР* (Постановление ЦК КПБ и СМ БССР «О мерах по дальнейшему развитию биологической науки в Белорусской ССР и усилению ее связи с практикой», № 220 от 23.05.1963);

с 1966 г. – *Институт экспериментальной ботаники АН БССР* (Постановление Совета Министров БССР № 536 от 16.11.1965);

с 1972 г. – *Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича АН БССР* (в целях увековечения памяти бывшего Президента АН БССР Василия Феофиловича Купревича, Героя Социалистического Труда, Заслуженного деятеля науки БССР, академика АН БССР, члена-корреспондента АН СССР, Институту экспериментальной ботаники АН БССР присвоено имя В. Ф. Купревича – Постановление Совета Министров БССР № 144 от 11.05.1972);

с 1981 г. – *Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича АН БССР ордена Трудового Красного Знамени* (за заслуги в разви-

тии биологической науки и подготовке научных кадров Институт награжден орденом Трудового Красного Знамени – Указ Президиума Верховного Совета СССР № 17 (2091) от 29.04.1981);

с 1991 г. – *Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Академии наук Беларуси* (Постановление Президиума АН БССР № 85 от 23.09.1991);

с 1997 г. – *Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси* (Указ Президента Республики Беларусь № 281 от 15.05.1997);

с 2000 г. – государственное научное учреждение «*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси*» (решение Мингорисполкома от 19.10.2000 № 1198 и свидетельство государственной регистрации № 0027189 от 26.10.2000).

История развития любой организации – это не просто хроника дат и событий, а отражение управленческой воли, ценностей и масштаба личности её лидеров. Каждый директор привносит уникальный стиль мышления, который формирует культуру, определяет приоритеты и меняет вектор развития учреждения. Одним довелось руководить Институтом в годы становления академической системы, другим – в тяжёлые послевоенные годы, третьим – в период активного развития фундаментальных исследований и расширения международного научного сотрудничества. Некоторые оказались во главе Института в силу сложных исторических обстоятельств, другие закономерно прошли путь от молодого исследователя до директора, став «плотью от плоти» самого учреждения. Однако каждый из них внёс свой вклад в формирование научного облика организации и оставил заметный след в его истории. В настоящей статье попытаемся проследить основные этапы развития Института через призму деятельности его руководителей.

СТАНОВЛЕНИЕ ИНСТИТУТА

Пётр Аристархович Мавродиади – профессор, первый директор Института биологических наук (1931–1933 гг.).

С деятельностью П. А. Мавродиади связан начальный этап системных биологических исследований в стране. Институт белорусской культуры преобразован в Белорусскую академию наук (БАН) в 1928 г., а в 1931 г. в её структуре создано 14 институтов. 15 марта 1931 г. собрание сотрудников биологических кафедр БАН приняло решение об их объединении в Институт, состоящий из пяти секторов (зоологии, ботаники, физиологии животных, общей биологии, гидробио-

логии), со штатом 28 человек. 29 марта 1931 г. Президиум Белорусской академии наук постановил организовать «Научно-исследовательский институт биологических наук», а 25 апреля директором назначен П. А. Мавродиади.

На момент организации Институт состоял из трех секторов: ботаники, зоологии и экспериментальной биологии. В секторе ботаники были созданы лаборатории физиологии растений, фитопатологии, группы флоры и геоботаники; в секторе экспериментальной биологии – лаборатории гельминтологии и физиологии животных и человека.

П. А. Мавродиادي являлся одним из инициаторов создания в г. Минске уникального даже в масштабах СССР Ботанического сада, для которого выделено 120 га совхозных земель. При участии сотрудников Института составлен общий план организации сада; в 1932 г. первым его директором назначен профессор С. П. Мельник.

С 1931 г. при Институте была организована аспирантура. Первыми аспирантами стали будущий президент АН БССР В. Ф. Купревич и научный сотрудник М. З. Пеккер, направленные в целевую аспирантуру в Ботанический институт АН СССР к известному ученому в области физиологии растений В. Н. Любименко.

Научно-исследовательская работа велась по трем направлениям: в области геоботаники проведены обследования сенокосов, растительности Березинского государственного заповедника (В. А. Михайловская); в области физиологии растений (М. Н. Гончарик) исследовали условия зимовки озимых культур и возможности выращивания сои в БССР; в фитопатологии (Н. А. Дорожкин) – болезни картофеля и других культур. В лаборатории гельминтологии изучали глистную инвазию скота и населения, в зоологическом секторе – охотничью фауну БССР, биологию речного бобра (И. Н. Сержанин и А. В. Федюшин).

Основные публикации: «*Поплавы і сенажаці*» (В. Михайлоўская, 1931), «*Уплыў ультра-фіяльковых прамянёў на ўтварэнне антацыяніну ў раслінах*» (М. Ганчарык, 1932), «*Бульба і дынаміка яе росту*» (П. Альсмік, М. Ганчарык, 1933), «*Параўнаная характарыстыка захворвання бульбы ў БССР*» (М. А. Дорожкін, А. І. Раўдо, 1933).

Николай Михайлович Кулагин – профессор, академик Белорусской академии наук, второй директор Института биологических наук (1934–1936 гг.).

За период его руководства значительно расширен круг исследуемых проблем, привлечены ученые-биологи разных специальностей: в штате Института на 01.01.1936 г. числилось 66 человек. В результате реорганизации 1935 г. сформированы лаборатории фитопатологии (Н. А. Дорожкин), микробиологии (А. А. Езубчик), физиологии растений (М. З. Пеккер), селекции и генетики (Н. А. Шварц), группы общей биологии и агротехники. Зоологический сектор реорганизован в лабораторию животноводства и общей биологии.

Николай Афанасьевич Дорожкин – профессор, академик Академии наук БССР, академик Академии сельскохозяйственных наук БССР, Заслуженный деятель науки БССР, третий (1936–1938 гг.) директор Института биологических наук АН БССР.

Институт получил структуру из 2, а затем 6 отделов: отдел флоры (М. П. Тomin), отдел живых растений, отдел фауны (Н. М. Кулагин), отдел генетики и селекции (Е. Б. Юрков), отдел защиты растений с 3 лабораториями (фитопатологии, энтомологии и борьбы с домовым грибом) (Н. А. Дорожкин), отдел физиологии и биохимии растений с 2 лабораториями (физиологии и биохимии, микробиологии) (М. З. Пеккер). В Институте работало более 40 сотрудников. Ботанические исследования были переориентированы на изучение сорняков и агротехники льна, картофеля и пшеницы. Т. Н. Годнев начал исследования растительных пигментов и биосинтеза хлорофилла. Лаборатория фитопатологии, изучая болезни картофеля, обследовала свыше 3000 колхозов и совхозов; к 1940 г. сотрудниками отдела опубликовано более 50 научных работ. В. Ф. Купревич, работая в лаборатории фитопатологии, опубликовал ряд трудов о болезнях растений и с 1937 г. начал исследования фотосинтетического поглощения углекислого газа почвы. Лаборатория генетики занималась селекцией картофеля и кок-сагыза, микробиологическая лаборатория – бактериальными удобрениями (нитрагин). Зоологи под руководством И. Н. Сержанина начали работу над многотомной монографией «*Фауна БССР*» (первые тома вышли к 1940 г.).

Основные публикации: «*Определитель лишайников БССР*» (М. П. Тomin, 1936–1938), «*Агротехника высоких урожаев картофеля: опыт колхозов Борисовского района в борьбе за 3000 пудов картофеля с гектара*»: (сборник работ, 1937), «*Определитель паразитных грибов по питающим растениям флоры БССР: Паразиты злаков*» (В. Бондарцева-Монтеверде и др., 1938).

Анна Андреевна Езубчик – доктор сельскохозяйственных наук, специалист в области сельскохозяйственной микробиологии, четвертый директор Института биологических наук (1939–1941 гг.).

За недолгий период её руководства Институт продолжался исследования по прежним направлениям: сорнякам и агротехнике основных культур, болезням сельскохозяйственных растений, бактериальным удобрениям и почвенной микробиологии, каучуконосным растениям (кок-сагыз), растительным пигментам, а также фауне и вредителям посевов в сельском хозяйстве БССР. Структура из 6 отделов была сохранена.

Основные публикации в этот период: «*Краткое практическое руководство по озеленению городов, совхозов и колхозов БССР*» (М. П. Охрименко, 1939), «*Фауна БССР*», том 1 (Н. М. Кулагин, «*Болезни картофеля и томатов в БССР*» (Н. А. Дорожкин, А. И. Ровдо, 1941).

ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

Деятельность Института в годы Великой Отечественной войны была прервана. Учреждение вместе с Академией наук эвакуировано на восток СССР, а его минские лаборатории, гербарии и оборудование оказались полностью разграблены и уничтожены – эвакуировать гербарные коллекции в июне 1941 г. не успели.

Часть ученых продолжила исследования в научных центрах Узбекской ССР и РСФСР. Будущий президент АН БССР В. Ф. Купревич оставался в осажденном г. Ленинграде, продолжая

работать в Ботаническом институте АН СССР, спасая коллекции и в ноябре 1941 г., в блокадных условиях, защитил докторскую диссертацию. Многие сотрудники ушли на фронт и в партизанские отряды, стали подпольщиками.

В 1944 г. отступающие нацисты вывезли гербарий Института в Германию. После войны коллекционный фонд был обнаружен в советской зоне оккупации и возвращен в Минск, однако не полностью – часть гербарных листов при транспортировке была утрачена.

ПОСЛЕВОЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Сразу после освобождения Беларуси в 1944–1945 гг. начался процесс возрождения биологической науки в БССР. 26 августа 1944 г. СНК БССР принял постановление «О возобновлении деятельности Академии наук БССР в Минске». Осенью 1944 г. ученые начали возвращаться в Минск, где застали сожженные лаборатории, уничтоженные гербарии и разграбленные коллекции. До середины 1947 г. единственным «пристанищем» для ученых-биологов АН БССР оставался Ботанический сад, где была начата разработка ряда научных проблем: «Освоение Полесской низменности» (Г. Ф. Железнов), «Рационализация питания растений» (Т. Н. Годнев), «Изучение биологии развития древесных растений» (Н. Д. Нестерович).

Георгий Фотиевич Железнов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, пятый директор Института биологии АН БССР (1947–1948 гг.).

В 1947 г. Институт биологии восстановлен под этим названием. Президиум АН БССР определил структуру Института в составе трех отделов: экспериментальной эволюции (А. Р. Жебрак), зоологии (И. Н. Сержанин) и физиологии растений (Т. Н. Годнев). В Институт поэтапно передаются отделы Ботанического сада, который и сам переходит в систему Института биологии на правах отдела.

Николай Афанасьевич Дорожкин – профессор, академик Академии наук БССР, академик Академии сельскохозяйственных наук БССР, Заслуженный деятель науки БССР, шестой (1948–1952 гг.) директор Института биологии АН БССР.

В первые послевоенные годы (1948–1952 гг.) Институт выполнял 21 научно-исследовательскую работу: по проблемам Полесья, защите сель-

скохозяйственных культур, изучению флоры и фауны БССР. Николай Афанасьевич активно занимался восстановлением разоренного войной Ботанического сада, добился существенного увеличения его финансирования (Постановление Совмина БССР от 21.08.1951). В этот период разработаны способы повышения болезнеустойчивости картофеля, внедрен авиационно-химический метод обработки посевов, а позднее метод малообъемного опрыскивания картофеля. По обращению Министерства коммунального хозяйства БССР разработан ассортимент растений для озеленения городов и районных центров. В 1950 г. структура Института расширена до 8 отделов: флоры и гербария, фауны, физиологии растений (позднее разделен на лаборатории хлорофилла и физиологии и биохимии растений), интродукции древесных и кустарниковых пород, защиты растений, интродукции новых травянистых и декоративных растений, помологии, а также Ботанический сад. В Институте работал Ученый совет (22 человека), обучалось 4 аспиранта и выполнялось 5 диссертационных тем. В эти годы Институт работал над проблемами повышения продуктивности и устойчивости урожаев полезных растений, зимостойкости древесных растений методом вегетативной гибридизации, озеленения населенных мест, структуры хлорофильного зерна, физиологии и биохимии хозяйственно полезных растений, изучением флоры БССР.

Издано три тома «Флора БССР» (под ред. Н. А. Дорожкина и М. П. Томина, 1949–1950), монографии «Рак картофеля и меры борьбы с ним» (Н. А. Дорожкин, 1948), «Технически ценные древесные породы, внедряемые в леса БССР» (Н. Д. Нестерович и др., 1949), «Практическое руководство по озеленению населенных мест» (П. Ф. Лысоконь и др., под ред. С. Д. Георгиевского, 1949), «Акклиматизация древесных растений в зеленом строительстве и лесном хозяй-

стве Белорусской ССР» (Н. Д. Нестерович, 1950), «Практическое руководство по культуре винограда в Белоруссии» (А. И. Красник и др., 1950), «Определитель листовых мхов БССР» (А. С. Лазаренко, 1951), «Вредители полевых культур и меры борьбы с ними» (А. Марковец, 1951), «Деревья и кустарники для зеленого строительства БССР» (под ред. С. Я. Соколова и Н. Д. Нестеровича, 1952).

Николай Дмитриевич Нестерович – профессор, академик Академии наук БССР, Заслуженный деятель науки БССР, седьмой директор Института биологии АН БССР (1952–1953 гг.).

К 1952 г. Институт состоял из 8 отделов (флоры и гербария, фауны, древесных растений, помологии, физиологии и биохимии растений, интродукции и акклиматизации травянистых растений, декоративного садоводства и закрытого грунта, Ботанический сад), число сотрудников достигло 84 человек (в т.ч. 2 доктора, 9 кандидатов наук); в 1953 г. в коллектив влились академики Н. В. Турбин и В. Ф. Купревич, численность выросла до 92 человек (в т.ч. 4 доктора, 14 кандидатов наук). Институт разрабатывал темы как фундаментального, так и прикладного направления: изучение люпинов и методов повышения их

продуктивности (Т. Н. Годнев), урожайности и качества семян интродуцированных древесных растений и повышения их зимостойкости методом вегетативной гибридизации (Н. Д. Нестерович), строения корневых систем древесных растений (И. Н. Рахтеенко), пополнения ассортимента плодовых растений новыми сортами винограда, абрикоса, персиков и грецкого ореха (А. И. Красник), озеленения населенных мест и Минска (С. Д. Георгиевский). В 1952 г. проведены крупные республиканские совещания по зеленому строительству и виноградарству.

Восстановлен разрушенный войной участок систематики растений Ботанического сада (2,3 га, 186 видов растений); всего на территории сада выращивалось около 380 тыс. растений более чем 850 видов. В 1952 г. из Института выделен со своим штатом Ботанический сад (территориально и юридически они долгое время оставались единым целым).

Опубликованы монографии: «Хлорофилл» (Т. Н. Годнев, 1952 г.), «Флора Полесской низменности» (В. А. Михайловская, 1953 г.), «Млекопитающие БССР» (И. Н. Сержанин, 1953 г.), «Нематоды главнейших полевых культур БССР» (О. И. Мержеевская, 1953 г.), «Шишки и семена хвойных пород Белорусской ССР» (Н. Д. Нестерович, Н. И. Чекалинская, 1953).

БУРНЫЙ РОСТ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ

Николай Васильевич Турбин – профессор, академик Академии наук БССР и Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук, восьмой директор Института биологии АН БССР (1953–1963 гг.).

Десятилетие руководства Н. В. Турбина – время активного формирования научных школ, ставших прообразом современной организации биологической науки в Беларуси. Организованы лаборатория биохимии (А. С. Вечер), отдел геоботаники (И. Д. Юркевич), лаборатории экологии растений (И. Н. Рахтеенко), стимуляторов роста и гербицидов (С. М. Маштаков), микробиологии (П. А. Буланов). Значительно расширены молекулярно-генетические исследования: организованы отделы генетики, экспериментальной полиплоидии (В. Е. Бормотов), радиационной генетики (А. Н. Ипатьев). В 1957–1958 гг. в самостоятельные учреждения выделились отделы зоологии и паразитологии (И. Н. Сержанин), физиологии и систематики низших растений (В. Ф. Купревич), лаборатория биофизики и изотопов (А. А. Шлык). К концу 1962 г. Институт биологии насчитывал 12 отделов. Штат вырос с 92 (1954 г.) до 142 (1963 г.) человек, включал 10 докторов и 30 кандидатов наук, 40 аспирантов.

В этот период Институт переезжает в новое здание по ул. Академической, собрав всех ученых-биологов под одной крышей.

Проведена масштабная работа по инвентаризации флоры республики, начаты систематические работы по пополнению гербарных коллекций высших растений, лишайников и мхов. Под руководством Н. Д. Нестеровича изучены интродуцированные и дикорастущие древесные растения. И. Д. Юркевич обосновал геоботаническое и лесорастительное районирование БССР. В отделе экологии растений (И. Н. Рахтеенко) изучены корневые системы древесных растений и обоснованы преимущества смешанных посадок. Под руководством Т. Н. Годнева выполнены классические исследования биосинтеза пигментов и фотосинтеза. А. А. Шлык в лаборатории биофизики и изотопов расшифровывал молекулярно-динамическую структуру фотосинтетического аппарата. С. М. Маштаковым проведены работы в области химической регуляции роста и развития клеток, обнаружены химические препараты, стимулирующие корнеобразование у черенков кустарниковых растений, доказана возможность повышения эффективности гербицидов при их применении в посевах устойчивых

сорт. Под руководством А. С. Вечера и А. В. Миرونенко исследована биохимия картофеля и бобовых растений (главным образом люпина), разработан хроматографический метод определения алкалоидов люпина. Под руководством С. В. Конева исследованы механизмы поглощения и миграции энергии в белковых системах, на основе спектрально-люминесцентных исследований разработаны и внедрены экспресс-методы определения белка и жира в молоке. По инициативе Н. В. Турбина начаты исследования биологии перекрестного опыления, гетерозиса и отдаленной гибридизации, выявлены важнейшие биологические закономерности процесса оплодотворения растений, ставшие научной основой практических рекомендаций по селекции и семеноводству в БССР.

Основные публикации: очередные тома «Флоры БССР» (М. П. Тomin, 1955, 1959), три тома «Интродуцированные деревья и кустарники в Белорусской ССР» (под ред. Н. Д. Нестеровича, 1959–1961), монографии: «Плодоношение интродуцированных древесных растений и перспективы разведения их в Белорусской ССР» (Н. Д. Нестерович, 1955), «Метод меченых атомов в изучении биосинтеза хлорофилла» (А. А. Шлык, 1956), «Определитель корковых лишайников Европейской части СССР: (кроме Крайнего Севера и Крыма)» (М. П. Тomin, 1956), «Физиология и биохимия растений» (под ред. Н. В. Турбина, С. М. Маштакова, 1957), «Дубравы Белорусской ССР и их восстановление» (И. Д. Юркевич, 1960), «Фотосинтез: конспект лекций по избранным главам физиологии растений» (Т. Н. Годнев, 1961), «Применение гербицидов и стимуляторов роста растений» (С. М. Маштаков и др., 1961), «Пластиды растений, их свойства, состав и строение» (А. С. Вечер, 1961), «Влияние экологических условий на физиологию культурных растений» (М. Н. Гончарик, 1962).

Иван Данилович Юркевич – профессор, академик Академии наук БССР, Заслуженный деятель науки БССР, девятый директор Института экспериментальной ботаники и микробиологии АН БССР / Института экспериментальной ботаники АН БССР (1963–1967 гг.).

В мае 1963 г. принято Постановление ЦК КПБ и СМ БССР «О мерах по дальнейшему развитию биологической науки», во исполнение ко-

торого лаборатории генетического направления выделены в самостоятельный Отдел генетики и цитологии (Н. В. Турбин), а Институт биологии переименован в Институт экспериментальной ботаники и микробиологии АН БССР во главе с И. Д. Юркевичем. С 1966 г., после выделения Отдела микробиологии (С. А. Самцевич), учреждение стало называться Институтом экспериментальной ботаники.

Организованы лаборатории белковых веществ и азотистого обмена (А. В. Миرونенко), продуктивности и водного режима фитоценозов (Л. П. Смоляк). К 1967 г. в Институте работало 140 человек (9 докторов наук, из них 4 академика, 39 кандидатов, 54 аспиранта). Исследования велись по трем проблемам: рациональное использование и охрана растительного мира (флора сорных растений БССР, карта растительности БССР, экология и биология древесных растений), фотосинтез и физиология и биохимия растений. Лесная типология И. Д. Юркевича положена в основу устройства лесов и лесохозяйственной деятельности в республике.

Опубликованы монографии: «Хлорофилл, его структура и образование в растениях» (Т. Н. Годнев, 1963), «Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений» (И. Н. Рахтеенко, 1963), «Ольха серая и ее лесоводственное значение в БССР» (И. Д. Юркевич и др., 1963) «Влияние света на рост и плодоношение древесных растений» (Н. Д. Нестерович, А. В. Пономарева, 1964), «Болезни картофеля» (Н. А. Дорожкин, 1964), «Экология древесных растений» (сборник статей, 1965), «География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии» (И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман, 1965), «Метаболизм хлорофилла в зеленом растении» (А. А. Шлык, 1965), «Физиология и биохимия люпина» (А. В. Миرونенко, 1965), «Определитель листоватых и кустистых лишайников БССР» (Н. В. Горбач, 1965), «Лекарственные растения: Дикорастущие» (под ред. А. Ф. Гаммермана и И. Д. Юркевича, 1965), «Лекарственные растения и их применение» (Д. К. Гесь и др., 1965, 1966), «Основы физической биохимии» (А. С. Вечер, 1966), «Плоды и семена лиственных древесных пород» (Н. Д. Нестерович и др., 1967), «Физиологическое действие гербицидов на сорта культурных растений» (С. М. Маштаков и др., 1967).

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ

Михаил Николаевич Гончарик – профессор, член-корреспондент Академии наук БССР, Заслуженный деятель науки БССР, десятый директор Института экспериментальной ботаники АН БССР (1967–1972 гг.).

Период его руководства – время качественного роста уже сформированных научных школ флоры и систематики растений, геоботаники, физиологии и биохимии растений, биологии и экологии древесных растений. Созданы группа

болотной и водной растительности (Л. П. Смоляк), отдел биохимии и молекулярной биологии; после смерти академика В. Ф. Купревича отдел физиологии и систематики низших растений вернулся в состав Института тремя лабораториями. В 1972 г. Институту присвоено имя В. Ф. Купревича. К 1972 г. штат вырос до 263 человек (в т.ч. 8 докторов, 68 кандидатов наук).

Тематика исследований во многом определялась крупными экономическими проектами республики (осушение Полесья, разработка калийных месторождений, развитие химической промышленности и т.д.). Активно изучали влияние мелиорации на флору и растительность Полесья (Л. П. Смоляк, В. И. Парфенов), эколого-фитоценотические закономерности формирования и размещения лесной растительности (В. С. Гельтман), ресурсы лекарственных растений (В. И. Парфенов), биологию и экологию древесных растений в условиях интродукции (Н. Д. Нестерович, А. Ф. Иванов), обводненность растений при мелиорации (М. Н. Гончарик), питание сельскохозяйственных растений (В. М. Терентьев), белковые вещества бобовых (А. В. Мироненко). Активно развивались исследования по хозяйственным договорам (2–5 ежегодно) с предприятиями реального сектора экономики: изучалась эффективность удобрений под сельскохозяйственные культуры, возможность применения продуктов обесшламливания руд Старобинского месторождения калийных солей, технология получения вин и уксуса из яблок, подкрашивание сыров каротиноидами, лесорастительное районирование при ведении лесного хозяйства. В 1972 г. коллективу лаборатории геоботаники во главе с И. Д. Юркевичем за цикл работ по изучению закономерностей размещения растительного покрова и создание карты растительности Белорусской ССР присуждена Государственная премия БССР в области науки и техники.

Опубликован ряд важных для отечественной науки монографий: «*Определитель растений Белоруссии*» (под ред. Б. К. Шишкина и др., 1967), «*Съедобные и ядовитые грибы*» (Г. И. Сержанина, 1967), «*Типы и ассоциации черноольховых лесов*» (И. Д. Юркевич и др., 1968), «*Физиологическое влияние ионов хлора на растения*» (М. Н. Гончарик, 1968), «*Лекарственные растения и их применение*» (Д. К. Гесь и др., 1968, 1971), «*Растительный покров Белоруссии*» с картой (под ред. И. Д. Юркевича, В. С. Гельтмана, 1969), «*Лесотипологические таблицы: пособие для лесоводов, лесоустроителей и студентов*» (И. Д. Юркевич, 1969), «*Болотные леса и их мелиорация*» (Л. П. Смоляк, 1969), «*Влияние света на древесные растения*» (Н. Д. Нестеро-

вич, Г. И. Маргайлик, 1969), «*Краткий определитель сорных растений Белоруссии*» (Л. Г. Симонович и др., 1969), «*Особенности физиологии роста хлебных злаков на торфяной почве*» (В. М. Терентьев, 1970), «*Рост древесных растений и кислотность почвы*» (А. Ф. Иванов, 1970), «*Типы и ассоциации еловых лесов (по исследованиям в БССР)*» (И. Д. Юркевич и др., 1971 г.), «*Корневое питание растений в фитоценозах*» (под ред. И. Н. Рахтеенко, 1971), «*Эколого-физиологические основы мелиорации лесных почв*» (Л. П. Смоляк, В. Г. Реуцкий, 1971), «*Физиологическое действие некоторых гербицидов на растения*» (С. М. Маштаков и др., 1971), «*Древесные растения и влажность почвы*» (Н. Д. Нестерович, Т. Ф. Дерюгина, 1972), «*Хорология флоры Белоруссии*» (Н. В. Козловская, В. И. Парфенов, 1972), «*Выделение типов леса при лесоустроительных работах: (вспомогательные таблицы)*» (И. Д. Юркевич, 1972).

Виктор Иванович Парфенов – профессор, академик Академии наук БССР / Национальной академии наук Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, одиннадцатый директор Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича АН БССР / АН Беларуси / НАН Беларуси (1972–2000 гг.).

Период руководства В. И. Парфенова – длительный этап, сочетающий как достижения поступательного развития (1972–1986 гг.), так и сложное время тяжелого социально-экономического положения периодов перестройки, распада Союза ССР, становления белорусской государственности конца 1980-х – 1990-х гг.

Период 1972–1980 гг.

К 1980 г. в структуре Института 12 лабораторий; штат вырос до 329 человек (182 научных сотрудника, включая 4 академиков, 2 членов-корреспондентов, 15 докторов и 77 кандидатов наук).

Проведена масштабная инвентаризация флоры низших и высших растений республики, изучены современное состояние флоры и ее отдельных природных районов, влияние антропогенного воздействия на естественные ареалы (В. И. Парфенов, Н. В. Козловская, Г. Ф. Рыковский, Г. А. Ким и др.). Изучены видовой состав и распространение лишайников (Н. В. Горбач), мхов (Г. Ф. Рыковский), грибов (Г. И. Сержанина, Н. А. Дорожкин); исследована патогенная микофлора бобовых культур и таксономия возбудителей клубневых гнилей картофеля, составлены карты распространения болезней картофеля в БССР (Н. А. Дорожкин, С. И. Бельская). В геоботанике завершен цикл исследований эколого-фитоценологических закономерностей формирования

лесов (И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман, Д. С. Голод, В. С. Адериho, Э. П. Ярошевич), изучена пойменная луговая растительность (Е. А. Круганова, Н. А. Буртыс, Г. А. Ким), разработана и апробирована региональная методика геоботанического картографирования, на основе которой впервые создана серия карт растительности БССР различных масштабов (И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адериho). В дендрологии изучены эколого-биологические особенности местных и интродуцированных древесных растений (Н. Д. Нестерович, А. Ф. Иванов), закономерности роста и минерального питания надземных и подземных органов растений, корневых систем в фитоценозах (И. Н. Рахтеенко, Б. И. Якушев), зависимость продуктивности лесных фитоценозов и агроценозов от водного режима почв (В. С. Гельтман, Л. П. Смоляк, Е. Г. Петров, В. Г. Реуцкий).

В физиологии растений изучена физиологическая сущность полегания хлебных злаков, построена модель продуктивного растения и предложен оригинальный способ посева, исследовано минеральное питание льна-долгунца (В. М. Терентьев, Н. А. Ламан, Л. Г. Емельянов). Изучена реакция сортов культурных растений на гербициды, ретарданты и стимуляторы роста, роль биологических мембран клетки в устойчивости к химическим регуляторам, регулирующая роль фенольных соединений (С. М. Маштаков, В. П. Деева, А. П. Волюнец). Исследована зависимость фотосинтеза от структурного состояния хлоропластов, разработана математическая модель адаптации процесса фотосинтеза к факторам среды (М. Н. Гончарик, В. М. Иванченко, В. Л. Калер). В биохимии показаны особенности ферментативной активности дерново-подзолистых и торфяно-болотных почв как диагностического показателя эффективности удобрений (Т. А. Щербакова); проведен большой цикл исследований по биохимии картофеля с разработкой технологии механического обезвоживания клубней (А. С. Вечер, В. Н. Решетников); впервые сравнительно исследованы изолированные клеточные ядра и хлоропласты фотосинтезирующей ткани (А. С. Вечер, В. Н. Решетников).

В 1976 гг. научный коллектив Института был удостоен Государственной премии БССР в области науки и техники за цикл работ по изучению морфологических и биологических особенностей древесных растений (под руководством Н. Д. Нестеровича); в 1980 г. лауреатами Государственной премии БССР стали физиологи В. М. Терентьев и Д. В. Федюнькин за обоснование использования ионитного субстрата как корнеобитаемой среды для выращивания растений.

За 1971–1980 гг. в результате завершения 61 научно-исследовательской и 58 хозяйственных тем внедрено около 180 разработок: широко используется впервые созданная серия карт растительности (И. Д. Юркевич, Д. С. Голод), рекомендации по оценке влияния мелиорации и лесосошения (И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман, Л. П. Смоляк), обоснование 20 государственных клюквенных и 12 ресурсных заказников лекарственных растений с утвержденной *«Инструкцией о порядке и правилах сбора лекарственных растений»* (В. И. Парфенов, Г. Ф. Рыковский), практические рекомендации по комплексной защите картофеля от болезней (А. В. Мироненко), рекомендации по возделыванию яровых злаков на торфяно-болотных почвах, дающие прибавку урожая 2–3 ц/га (Н. А. Ламан), новые источники света для светокультур и установка конвейерного выращивания овощей на ионитной почве (В. М. Терентьев), технология производства калийных удобрений из глинисто-солевых шламов Солигорского месторождения (В. М. Иванченко, М. Н. Гончарик), электрокоагуляционный метод очистки сточных вод, внедренный на предприятиях свыше 30 городов страны (В. Л. Калер), технология производства сухих яблочных виноматериалов (А. С. Вечер, Л. А. Юрченко) и ряд научно-технических прогнозов развития Полесья и биосферы БССР, использованных директивными органами. С 1973 г. велся учет экономического эффекта внедрений, составивший за десятилетие свыше 4,1 млн руб.; получено свыше 30 авторских свидетельств.

Основные публикации: *«Лишайники Белоруссии: определитель»* (Н. В. Горбач, 1973), *«Типы и ассоциации ясеневых лесов: (по исследованиям в БССР)»* (И. Д. Юркевич, В. С. Адериho, 1973), *«Физиология и биохимия картофеля»* (А. С. Вечер, М. Н. Гончарик, 1973), *«Лекарственные растения и их применение»* (Д. К. Гесь и др., 1974–1977), *«Фотосинтез и структурное состояние хлоропластов»* (В. М. Иванченко, 1974), *«Биология древесных растений»* (под ред. Н. Д. Нестеровича, 1975), *«Физиология устойчивости сортов растений к гербицидам и ретардантам»* (В. П. Деева, З. И. Шелег, 1976), *«Авторегуляция образования хлорофилла в высших растениях»* (В. Л. Калер, 1976), *«Динамика лугово-болотной флоры и растительности Полесья под влиянием осушения»* (В. И. Парфенов, Г. А. Ким, 1976), *«Растение и среда»* (сборник статей под ред. И. Д. Юркевича, 1976), *«Техника биохимического исследования субклеточных структур и биополимеров»* (под ред. А. С. Вечера, 1977), *«Леса Белорусского Полесья: геоботанические исследова-*

ния)» (И. Д. Юркевич и др., 1977), «Болезни бобовых культур в БССР» (Н. А. Дорожкин и др., 1978), «Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны» (Н. В. Козловская, 1978), «Проблемы использования и охраны растительного мира Белоруссии» (В. И. Парфенов, 1978), «Водное питание и продуктивность сосновых фитоценозов» (Л. П. Смоляк, Е. Г. Петров, 1978), «Фізіялогія і біохімія бульбы» (А. С. Вечар, М. М. Ганчарык), «Болезни картофеля» (Н. А. Дорожкин, С. И. Бельская, 1979), «Регуляция функций мембран растительных клеток» (под ред. В. М. Юрина, 1979), «Влагообеспечение растений на торфяной почве: (физиологические аспекты)» (Л. Г. Емельянов, 1980), «Ретарданты – регуляторы роста растений» (В. П. Деева, 1980), «Обусловленность распространения и адаптация видов растений на границах ареалов» (В. И. Парфенов, 1980), «Мохообразные Березинского биосферного заповедника» (Г. Ф. Рыковский, 1980), «Взаимодействие эндогенных регуляторов роста и гербицидов» (А. П. Волюнец, 1980).

Период 1981–1990 гг.

В 1981 г., в связи с 50-летием Института, постановлением Президиума Верховного Совета Союза ССР он награжден орденом Трудового Красного Знамени. В структуре произошел ряд переименований и реорганизаций лабораторий (фитомониторинга, флоры и систематики растений, радиоэкологии растений, продуктивности и устойчивости лесных экосистем и др.); к 1990 г. Институт насчитывал 13 лабораторий и 318 сотрудников (171 научный сотрудник, 3 академика, 13 докторов, 76 кандидатов наук).

Основные направления исследований: динамика растительных комплексов и охрана природы; флористика и фитоохорология; изучение малоизученных групп растений и адаптивных механизмов; мониторинг экосистем; физиология культурных растений и иммунитет; ионный транспорт в клетке; биохимия внутриклеточных структур; технологии переработки растительного сырья.

Установлены закономерности изменения флоры под влиянием антропогенных факторов, эколого-географические закономерности распространения редких и исчезающих видов растений Красной книги, разработан природно-миграционный принцип охраны флоры и создания единой сети заповедных объектов (В. И. Парфенов, Г. Ф. Рыковский, Г. А. Ким, Г. В. Вынаев). Изучены устойчивость лесных фитоценозов к рекреационным нагрузкам (Д. С. Голод, Е. Л. Красовский), продуктивность и сезонное развитие сосновых и широколиственных лесов (И. Д. Юркевич, Э. П. Ярошевич, В. С. Адериho, А. З. Тютю-

нов), разработана классификация луговой растительности (Н. А. Буртыс); определена индивидуальная изменчивость по качеству пыльцы 68 видов древесных интродуцентов (Н. Д. Нестерович, Л. В. Кравченко). Разработана схема таксономии мембранотропных эффектов, экспериментально доказана обратимость H^+ -АТФазной помпы плазмалеммы растительных клеток и построена ее кинетическая модель (В. М. Юрин, В. А. Бобров, А. И. Соколик). Изучены биохимические свойства ядерных белков и гистонов сельскохозяйственных растений (А. С. Вечер, В. Н. Решетников), фотоиндуцируемые структурные изменения хлоропластов (В. М. Иванченко). Определен спектр ферментов возбудителей фузариозно-бактериальной гнили картофеля и разработаны методы оценки устойчивости к клубневым гнилям (Н. А. Дорожкин, А. В. Мироненко, В. И. Домаш). Исследован водный режим отдельных экологических групп растений, показано, что система эндогенного контроля водообмена, не связанная с устьичной регуляцией, заключается в генерации фотосинтетическим аппаратом движущей силы дальнего транспорта влаги (Л. Г. Емельянов, В. Г. Реуцкий). Установлены особенности действия химических регуляторов роста на систему синтеза белка и азотный обмен, разработан способ повышения засухоустойчивости растений с помощью физиологически активных соединений (В. П. Деева). Сформулированы принципы формирования высокопродуктивных посевов зерновых культур, обоснована конструкция каткового сошника зерновой сеялки, установлены физиологические особенности нарушения водообмена тканей хлебных злаков при воднотепловом стрессе (Н. А. Ламан, Л. Г. Емельянов). Разработан метод ранней диагностики в селекции ярового ячменя на продуктивность и устойчивость к полеганию (Н. А. Ламан, М. Т. Чайка, С. И. Гриб). Показано, что H^+ -АТФазная помпа плазмалеммы растительных клеток в определенных условиях может функционировать в режиме синтеза АТФ, разработана модель функционирования протон-АТФазных каналов электрогенной протонной помпы (В. М. Юрин, В. А. Бобров). Определены состав и свойства матрикса клеточного ядра, его эволюционная консервативность (А. С. Вечер, В. Н. Решетников). Дана оценка радиобиологической ситуации на экологических профилях республики в связи с аварией на ЧАЭС (Б. И. Якушев).

Среди прикладных результатов – подготовлена «Чырвоная кніга Беларускай ССР», разработан классификационный список особо охраняемых природных территорий и объектов БССР, являющийся основой для выделения территорий,

подлежащих охране (В. И. Парфенов, Г. Ф. Рыковский). Разработан полный таксономический, географический и экологический анализ флоры охраняемых природных территорий. Установлена типологическая структура мелиорированных лесоболотных комплексов площадью свыше 200 тыс. га и определены их категории, нуждающиеся в реконструкции (В. С. Гельтман, Е. Г. Петров). Разработана инструкция по геоботаническому обследованию природных кормовых угодий и составлению геоботанических карт (И. Д. Юркевич и др.). Установлены физиолого-биохимические основы повышения семенной продуктивности люцерны, определены оптимальные условия формирования ее семян (А. П. Волюнец, Р. А. Прохорчик). Разработан способ применения квартазина для регуляции роста и повышения продуктивности картофеля (В. П. Деева). Составлена программа мониторинга растительных комплексов на примере Березинского государственного биосферного заповедника (В. С. Гельтман). Определены физиологические особенности ели обыкновенной в культурфитоценозах в зависимости от условий освещения и минеральных удобрений (Н. Д. Нестерович, А. А. Новикова). Разработаны методические подходы к оценке взаимосвязи особенностей растительного мира и уровня заболеваемости населения злокачественными опухолями (Д. С. Голод). Усовершенствованы методы оценки картофеля на устойчивость к клубневым гнилям при хранении и выявлена возможность прогнозирования ржавчиноустойчивости ржи в целях селекции (Н. А. Дорожкин, С. И. Бельская). Определено влияние обвалования р. Припяти на состояние и динамику лесной растительности, установлен характер изменения продуктивности сосновых, дубовых и черноольховых древостоев при снижении уровня почвенно-грунтовых вод (В. С. Гельтман, И. Ф. Моисеенко).

За 1981–1990 гг. внедрено около 220 разработок с экономическим эффектом 11,9 млн руб., в том числе: научная основа единой перспективной сети охраняемых природных территорий БССР; предложения по выявлению на территории Белоруссии мест произрастания редких и исчезающих видов растений; таблицы продуктивности и геоботаническая характеристика лугов поймы р. Березины; технология сушки семян люпина, гороха и многолетних трав активным вентилированием; комплексная система защиты картофеля от болезней и вредителей; метод диагностики продуктивности картофеля и способ его хранения в закисленных средах; способ и режим импульсного дождевания на посевах огурцов и капусты; технология переработки картофеля путем механического обезвоживания; экс-

периментальный образец новой сеялки (совместно с ЦНИИ механизации и электрификации сельского хозяйства); оценка влияния природно-растительных комплексов на заболеваемость населения злокачественными опухолями; новые сорта картофеля 'Комсомолец-20', 'Садко' и 'Пригожий-2'; типология широколиственных лесов для лесоустроительных работ; рекомендации по срокам сбора плодов и семян широколиственных пород, принятые лесосеменной станцией; ассортимент свыше 500 ценных видов древесных растений для лесного хозяйства и зеленого строительства; результаты оценки устойчивости клевера к болезням для селекционной работы; рекомендации по внесению минеральных удобрений в питомниках; предложения по расширению сети заповедников, заказников и генетических резерватов общей площадью 79,2 тыс. га; рекомендации «Применение удобрений в сосновых и еловых культурах»; рекомендации по комплексной оценке картофеля на устойчивость к смешанным гнилям; рекомендации по оценке эффективности лесосушительных мелиоративных объектов; способ применения солей гидразина для повышения продуктивности картофеля, защищенный авторским свидетельством; макет установки для изучения фототаксиса хламидомонад в полетных экспериментах.

Основные публикации: «Чырвоная кніга Беларускай ССР : Рэдкія і тыя, што знаходзяцца пад пагрозай знікнення, віды жывёл і раслін» (1981), «Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии» (В. С. Гельтман, 1982), «Интродукционные районы и древесные растения для зеленого строительства в Белорусской ССР: (справочник)» (Н. Д. Нестерович, 1982), «Окислительно-восстановительные процессы инфицированного растения» (З. Я. Серова и др., 1982), «Флора Белорусского Полесья: (современное состояние и тенденции развития)» (В. И. Парфенов, 1983), «Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества: (в естественных и искусственных фитоценозах)» (Т. А. Щербакова, 1983), «Водный режим и продуктивность лесных фитоценозов на почвах атмосферного увлажнения» (Е. Г. Петров, 1983), «Основы физической биохимии растений» (А. С. Вечер, 1984), «Биологический потенциал ячменя: устойчивость к полеганию и продуктивность» (Н. А. Ламан и др., 1984), «Шляпочные грибы Белоруссии: Определитель и конспект флоры» (Г. И. Сержанина, 1984), «Сосновые леса Белоруссии: (типы, ассоциации, продуктивность)» (И. Д. Юркевич, Н. Ф. Ловчий, 1984), «Регуляторы роста и урожаев» (В. П. Деева, З. И. Шелег, 1985), «Формирование

высокопродуктивных посевов зерновых культур» (Н. А. Ламан, 1985), «Рост и развитие древесных растений в зависимости от светового режима» (А. А. Новикова, 1985), «Антропогенные изменения флоры и растительности Белоруссии» (В. И. Парфенов и др., 1985), «Грабовые леса Белоруссии: типология, структура, продуктивность» (И. Д. Юркевич, А. З. Тютюнов, 1985), «Водородные ионы в биосфере» (А. С. Вечер, 1986), «Ивы (*Salix L.*) Белоруссии: таксономия, фитоценология, ресурсы» (В. И. Парфенов, И. Ф. Мазан, 1986), «Потенциал продуктивности хлебных злаков: технологические аспекты реализации» (Н. А. Ламан и др., 1987), «Бластомогены в лесных биогеоценозах» (И. Д. Юркевич и др., 1987), «Природные ресурсы кормовых белков» (А. В. Мироненко, 1987), «Избирательное действие химических регуляторов роста на растения: физиологические основы» (В. П. Деева и

др., 1988), «Интенсивная культура растений в искусственных условиях» (Д. В. Федюнькин и др., 1988), «Проблемы иммунитета сельскохозяйственных растений к болезням» (Н. А. Дорожкин и др., 1988), «Исследование растений и почв: эколого-физиологические методы» (Б. И. Якушев, 1988), «Экологический режим сосновых биогеоценозов: Березинский биосферный заповедник» (Е. Г. Петров и др., 1988), «Липняки Белоруссии: типы, ассоциации, лесохозяйственное значение» (И. Д. Юркевич и др., 1988), «Пойменные леса Припяти и их трансформация в связи с мелиорацией» (В. С. Гельтман, И. Ф. Моисеенко, 1990), «Патогенные грибы на бобовых травах в Белоруссии» (Н. А. Дорожкин, В. И. Нитиевская, 1990), «Безотходная технология переработки картофеля» (И. И. Паромчик и др., 1990), «Белки культурных и дикорастущих кормовых растений» (А. В. Мироненко и др. 1990).

ПЕРИОД СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА 1990-х

В. И. Парфенов, период 1991–2000 гг. В непростых условиях 1990-х гг. Институт под руководством В. И. Парфенова продолжал развиваться: созданы лаборатория растительных ресурсов и радиопротекторов, лаборатория микологии (бывшая лаборатория низших растений), лаборатория оптимизации продуктивности агроценозов; в 1998 г. лаборатория биохимии и биотехнологии растений (В. Н. Решетников) передана в состав Центрального ботанического сада. К 2000 г. в Институте работало 186 человек (155 исследователей, 1 академик, 2 члена-корреспондента, 10 докторов, 55 кандидатов наук).

В рамках завершающего этапа инвентаризации флоры страны (высших растений, мохообразных, лишайников), выполнен анализ изменения флоры под влиянием антропогенных факторов, разработаны научные основы единой территориальной системы охраны природных объектов и ее картографическая модель (В. И. Парфенов, Г. Ф. Рыковский). Обоснована новая стратегия сохранения биоразнообразия флоры путем создания сети национальных парков. Завершена инвентаризация растительного покрова Беларуси, создана серия детальных карт растительности, в том числе «Карта восстановленной растительности Центральной и Восточной Европы» (Д. С. Голод). Проведен анализ сети особо охраняемых территорий и сформулирована концепция ее дальнейшей оптимизации (Д. С. Голод). Впервые в стране проведена паспортизация 210 штаммов, включающих 46 видов макромикетов; создан банк из более 500 штаммов грибов и 200 штаммов бактерий для биологической защиты растений, разработан препарат «Миколин» (О. С. Гапиен-

ко). В связи с аварией на Чернобыльской АЭС активно развивалась радиоэкологическая тематика – исследованы закономерности аккумуляции радионуклидов растениями лесных и луговых фитоценозов (Б. И. Якушев и др.).

Являясь головным научным учреждением в области физиологии и биохимии растений, Институт занимал лидирующие позиции в стране по разработке физиологии продукционного процесса растений (рост, развитие, фотосинтез, водообмен). Сформулирована концепция биологического потенциала продуктивности растений как методологический прием анализа посевов в качестве продукционных систем, обоснованы морфофизиологические модели высокопродуктивных сортов хлебных злаков (Н. А. Ламан). Выявлены принципы формирования фитопатосистем и защитных реакций растений, показано, что эндогенные фенольные соединения являются компонентами естественного фитоиммунитета; установлены новые физиологические свойства эндогенных стероидных гликозидов как регуляторов роста с иммунизирующим эффектом (А. П. Волюнец). Предложена концепция регуляции движущей силы дальнего транспорта воды в растениях и разработана методика электронного мониторинга их водного режима (В. Г. Реуцкий). Впервые обосновано функционирование протеиназно-ингибиторной системы у высших растений и ее роль в иммунитете (В. И. Домаш, А. В. Мироненко). На изоплазматических линиях ячменя выявлены физиолого-биохимические особенности действия регуляторов роста на белковый и РНК-состав, перекисное окисление липидов, устойчивость мембран, обнаружены но-

вые регуляторы роста, повышающие устойчивость растений к водному стрессу (В. П. Деева). Исследованы особенности водного режима при микроклональном размножении картофеля, обоснованы приемы повышения стрессоустойчивости микроклонов, существенно (до 98%) увеличивающие их приживаемость, разработан способ экспресс-оценки потенциальной продуктивности сортообразцов зерновых культур на ранних стадиях развития проростков (Т. Г. Янчевская).

Разработаны концепция, структура, программа и методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (А. В. Пугачевский). Институт определен головной организацией Национальной академии наук Беларуси в области мониторинга окружающей среды.

Подготовлены научные обоснования создания Национальных парков «Браславские озера» и «Нарочанский», преобразования Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника в национальный парк, а также структура и научные основы создания «Зеленой книги Республики Беларусь» (Д. С. Голод и др.). Дана оценка современного состояния лесных ресурсов и лесистости Беларуси, разработаны рекомендации, вошедшие в «Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси» (Д. С. Голод, Е. Г. Петров, А. В. Пугачевский). Обосновано (совместно с БелНИИ земледелия) внедрение новых технологий смешанного возделывания сельскохозяйственных

культур, снижающих пестицидную нагрузку, разработаны и приняты Минсельхозпродом отраслевые регламенты возделывания озимой ржи и вики на корм, ярового ячменя с горохом (Н. А. Ламан); совместно с заводом «Лидагропроммаш» создана и поставлена на серийное производство сеялка для смешанного посева СПУ-4С. Разработана технология и создан биотехнический комплекс круглогодичного производства миниклубней картофеля на основе ионитопоники, позволяющий получать до 1000 миниклубней с 1 м² за вегетацию (Т. Г. Янчевская).

Основные публикации: «Кариология флоры как основа цитогенетического мониторинга: (на примере Березинского биосферного заповедника)» (С. А. Дмитриева, В. И. Парфенов, 1991), «Березовые леса Беларуси: типы, ассоциации, сезонное развитие и продуктивность» (И. Д. Юркевич и др., 1992), «Ценопопуляции ели: структура, динамика, факторы регуляции» (А. В. Пугачевский, 1992), «Функции белков в фитопатогенезе» (З. Я. Серова и др., 1992), «Красная книга Республики Беларусь: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений» (1993), «Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси: (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС)» (под ред. В. И. Парфенова, Б. И. Якушева, 1995), «Экологический анализ структуры и продуктивности сосновых лесов Беларуси» (Н. Ф. Ловчий, 1999), «Определитель высших растений Беларуси: учебное пособие для биологических специальностей высших учебных заведений» (под ред. В. И. Парфенова, 1999).

СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД: УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ОРИЕНТАЦИЯ НА ПРАКТИКУ

Николай Афанасьевич Ламан – профессор, академик Национальной академии наук Беларуси, двенадцатый директор Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (2000–2010 гг.).

Под руководством Н. А. Ламана в первое десятилетие 2000-х гг. деятельность Института, как и всей белорусской науки, проходила в сложных условиях реформирования и оптимизации финансирования. Директору удалось сохранить дееспособный костяк коллектива, отстоять его дальнейшее независимое развитие и наладить систему актуальных фундаментальных и прикладных исследований.

В структуре учреждения произошел ряд переименований и укрупнений лабораторий, созданы отделы: флоры и гербария; устойчивости и мониторинга растительных сообществ; геоботаники и картографии растительности; физиологии питания растений; физиологии продуктивности и устойчивости растений. В 2007 г. Институт вошел в состав ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по био-

ресурсам». К 2009 г. численность сотрудников составляла 128 человек (104 исследователя, 2 академика, 1 член-корреспондент, 9 докторов, 37 кандидатов наук). В 2010 г. Институт признан победителем и занесен на Доску почета НАН Беларуси, как лучшая организация Отделения биологических наук.

Основные направления: научные основы охраны растительного мира; мониторинг окружающей среды; физиология и биохимия продуктивности и устойчивости растений; ботаническое ресурсоведение и государственный кадастр растительного мира; изучение реакции растительности на изменение климата.

В этот период Институт вел исследования по 88 заданиям программ различного уровня: ГПОФИ – 42 задания, ГПШ – 7, ГКПНИ – 2, ГНХСП – 14, ГНТП и ОНТП – 23, отдельных научно-технических проектов – 60. При активном участии специалистов Института впервые разработан и в 2003 г. принят Закон Республики Беларусь «О растительном мире», а также ряд под-

законных актов в его развитие (А. В. Пугачевский). В 2002 г. Гербарию Института – крупнейшему в стране собранию сосудистых растений, мохообразных, грибов и лишайников – присвоен статус научного объекта, составляющего национальное достояние (В. И. Парфенов, О. С. Гапиенко). Совместно с Институтом зоологии НАН Беларуси разработаны и в 2007–2008 гг. приняты *«Национальная стратегия развития системы природоохранных территорий до 2015 года»*, *«Схема рационального размещения ООПТ»* и *«Государственная программа развития системы ООПТ на 2008–2014 гг.»*. Институт являлся головной организацией по ГПОФИ «Ресурсы растительного и животного мира», осуществлял научное обеспечение государственного регулирования в области обращения с объектами растительного мира.

Завершен многолетний цикл инвентаризации, уточнения систематической принадлежности и географической структуры флоры отдельных регионов и страны в целом, положенный в основу издания *«Флора Беларуси»*. С использованием современных международных критериев подготовлено 3-е издание *«Красной книги Республики Беларусь»* (В. И. Парфенов и др.). Разработаны научные и технико-экономические обоснования создания и преобразования 14 заказников республиканского значения (Д. Г. Груммо и др.). Созданы научные основы ведения Государственного кадастра растительного мира, развернуты работы по его фактическому наполнению (О. М. Масловский и др.).

Разработан в рамках ГНТП *«Управление лесами и рациональное лесопользование»* прогноз структуры лесов и лесопатологической ситуации в связи с изменением климата, программа адаптации лесного хозяйства до 2050 г. (А. В. Пугачевский); практические рекомендации по выращиванию карельской березы вошли в ТКП *«Правила рубок леса»*. Выполнены проектно-исследовательские работы по блоку *«Растительный мир»* для площадок размещения АЭС, включая картографические материалы для Островецкой площадки (А. В. Пучило). Институт стал головной организацией НАН Беларуси по реализации Госпрограммы развития Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) на 2006–2010 гг., создан информационно-аналитический центр мониторинга растительного мира (А. В. Судник), организованы наблюдения за водной, луговой растительностью, ресурсообразующими и охраняемыми видами, зелеными насаждениями городов Минска, Гродно, Могилева и Борисова; показана динамика зарастания угодий древесно-кустарниковой растительно-

стью и снижение продуктивности пойменных лугов (И. М. Степанович). Разработан и в 2006 г. принят правительством план мероприятий по борьбе с инвазией чужеродных видов (В. П. Семенченко, А. В. Пугачевский), изданы рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского (Н. А. Ламан).

В интересах сельского хозяйства разработан и запатентован пленкообразующий состав для инкрустации семян, использованный при создании отечественных аналогов фунгицидов (Н. А. Ламан); внедрены биотехнические комплексы производства оздоровленных мини клубней картофеля (Т. Г. Янчевская), совместно с ИФОХ НАН Беларуси разработаны стимулятор роста «Тубелак» и средство защиты растений «Туберит» из картофельного сока (В. И. Домаш); разработаны и внедрены на площади более 2 тыс. га (Гомельская и Могилевская области) регламенты возделывания новой кормовой культуры – галеги восточной, создана коллекция из 43 сортообразцов (Н. А. Ламан).

Основные публикации: *«Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием»* (Н. И. Федоров, В. В. Сарнацкий, 2001), *«Флора и растительность Полесского государственного радиационно-экологического заповедника»* (В. И. Парфенов и др., 2002), *«Стероидные гликозиды – новые фиторегуляторы гормонального типа»* (А. П. Волюнец и др., 2003), *«Флора Беларуси. Мохообразные»* (Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский, 2004, 2009), *«Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений»* (2005), *«Физиолого-экологические основы оптимизации продукционного процесса агрофитоценозов (поликультура в растениеводстве)»* (В. Н. Прохоров и др., 2005), *«Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки»* (Г. Н. Алексейчук, Н. А. Ламан, 2005), *«Макромицеты, микромицеты и лишенизированные грибы Беларуси: гербарий Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича (MSK-F, MSK-L)»* (О. С. Гапиенко и др., 2006), *«Руссуляльные грибы Беларуси: Lactarius и Russula (млечники и сыроежки)»* (Я. А. Шапорова, 2007), *«Основы молекулярного маркирования грибной ДНК: практическое руководство»* (Е. О. Юрченко, М. Г. Сиянская, 2007), *«Регуляторы роста растений: механизмы действия и использование в агротехнологиях»* (В. П. Деева, 2008), *«Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения»* (Г. Н. Алексейчук, 2009), *«Флора Беларуси. Сосудистые растения»* (под ред.

В. И. Парфенова, 2009), «*Сосудистые растения Национального парка Припятский*» (В. И. Парфенов и др., 2009), «*Мохообразные национального парка Припятский: эволюционный аспект, таксономия, экология, география, жизненные стратегии*» (Г. Ф. Рыковский и др., 2010), «*Флора и растительность республиканского ландшафтного заказника Ельня*» (Д. Г. Груммо и др., 2010), «*Грибы рода Peniophora (Basidiomycota) Усходняй Еўропы: марфалогія, таксаномія, экалогія, распаўсюджанне*» (Я. А. Юрчанка, 2010).

Александр Викторович Пугачевский – кандидат биологических наук, тринадцатый директор Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (2010–2022 гг.).

Период работы А. В. Пугачевского директором Института – период планомерного развития ботанической науки, прежде всего в области практико-ориентированных исследований. К концу 2021 г. в Институте функционировали 7 лабораторий и 3 сектора, численность сотрудников составляла 133 человека (114 исследователей, 5 докторов, включая 2 академиков и 1 члена-корреспондента, 41 кандидат наук). Институт являлся головным учреждением НАН Беларуси по государственным программам развития НСМОС.

В интересах лесного хозяйства разработаны комплекс мероприятий и Стратегия адаптации лесного хозяйства к изменению климата до 2050 г., классификация рисков лесовыращивания по факторам и вероятности их проявления (А. В. Пугачевский), лесотипологическая классификация антропогенно-производных ассоциаций сосновых лесов и ТКП «*Правила выделения типов леса*» (Р. В. Цвирко, А. В. Пучило). Выделены леса высокой природоохранной ценности для всех лесохозяйственных учреждений страны, что позволило снять замечания международных органов лесной сертификации и расширить внедрение системы FSC, подготовлены дополнения к проектам организации и ведения лесного хозяйства более 30 лесхозов (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин). Проведена инвентаризация 927 гидролесомелиоративных систем на площади почти 456 тыс. га и даны рекомендации по их дальнейшему использованию (А. В. Судник, А. М. Потапенко). Показана роль крупного древесного детрита в поддержании биоразнообразия лесов (С. А. Жданович). Организованы широкомасштабные дендрохронологические исследования и разработано дендрохронологическое районирование Беларуси, подготовлены методические рекомендации по исследованию лесоматериалов дендрохроно-

логическим методом для судебно-ботанической экспертизы (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин).

В интересах охраны окружающей среды впервые в стране под руководством А. В. Пугачевского разработаны перечень и критерии выделения редких и типичных природных биотопов, понятие которых в 2013 г. введено в Закон об охране окружающей среды; разработано «*Положение о порядке передачи типичных и (или) редких природных ландшафтов и биотопов под охрану*» и специальное издание «*Редкие биотопы Беларуси*». Впервые для Беларуси разработана методика учета ресурсов растительного мира болот (технологическая цепочка от космического снимка до ресурсных карт), с 2016 г. начаты работы над цифровой картой растительности Беларуси – к 2020 г. опубликованы крупно- и средне-масштабная карты северной геоботанической подзоны, охватывающей 42% территории страны (Д. Г. Груммо и др.). Разработаны теоретические основы мониторинга биоразнообразия с использованием дистанционного зондирования, составлены крупномасштабные карты растительности крупнейших ООПТ – «Беловежская пушта», «Нарочанский», «Припятский», «Браславские озера», Березинский заповедник (Д. Г. Груммо). Разработаны и внедрены научные основы сохранения и восстановления нарушенных торфяников, «*Стратегия сохранения и рационального использования торфяников*» и Закон об охране торфяников (Д. Г. Груммо). Разработан комплекс мер по борьбе с инвазивными видами растений (Н. А. Ламан), охарактеризовано 52 наиболее вредоносных вида и приведен перечень из 270 потенциально инвазионных видов (Д. В. Дубовик и др.). Разработаны 30 планов действий по сохранению краснокнижных видов растений (И. П. Вознячук), подготовлено 4-е издание «*Красной книги Республики Беларусь*» (В. И. Парфенов). Проведено повторное обследование территории страны для государственного кадастра растительного мира (О. М. Масловский). Разработаны обоснования создания и преобразования 30 заказников республиканского и 67 заказников местного значения, более 100 памятников природы. Подготовлен каталог хозяйственно полезных видов растений природной флоры (В. И. Парфенов), развернута система мониторинга растительного мира района размещения Белорусской АЭС (А. В. Пучило). Издана книга «*Живые памятники: редкие и уникальные деревья и насаждения Беларуси*» с базой данных из 1304 деревьев (И. П. Вознячук). Исследования Института создали научную основу выполнения обязательств Беларуси по Конвенции о биологическом разно-

образии, Рамсарской и Бернской конвенциям, Конвенции по опустыниванию и Рамочной конвенции по изменению климата.

В интересах городского коммунального хозяйства и зеленого строительства разработаны «Инструкция по определению аварийности и жизненного состояния деревьев в составе зеленых насаждений» (А. В. Судник), «Рекомендации по применению на городских газонах препаратов, ингибирующих рост и развитие одуванчика лекарственного», позволяющие снизить число кошений на 30% и затраты на гербициды (В. Н. Прохоров), а по заказу Мингорисполкома – полифункциональный препарат для защиты придорожных древесных растений от противогололедных реагентов (В. П. Шуканов). В интересах дорожной отрасли разработан ТКП «Автомобильные дороги. Правила благоустройства и озеленения», шкалы оценки воздействия строительства и содержания автодорог на придорожные насаждения, комплекс мер по минимизации воздействия содержания МКАД-2 на растительность, использованный РУП «Минскавтодор-Центр» (А. В. Судник). Организовано производство опытных партий ионообменных субстратов «Триона» и «Трионит»; заключены контракты на поставку субстрата в Китай (Т. Г. Янчевская). Совместно с РУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси» разработаны энергосберегающие технологии выращивания растений в закрытом грунте с применением светодиодных источников освещения, позволяющие снизить расход энергии (Л. В. Обуховская, О. В. Молчан). Разработана технология получения импортозамещающего микроудобрения «Наноплант» на основе наночастиц металлов, рекомендованного для промышленного применения на зерновых, зернобобовых и овощных культурах (В. И. Домаш). Создана коллекция семян хозяйственно полезных растений природной флоры, включенная в Национальный банк генетических ресурсов растений (С. А. Дмитриева); разработаны технологии производства органоминеральных бактеризованных биогрунтов и биопрепаратов с ростостимулирующей и фитозащитной активностью (Ж. Н. Калацкая).

При Институте создана и продолжает работу сеть кластерных структур (Республиканский центр картографирования биоразнообразия, Головной центр экспертизы объектов живой природы и др.), сформирована система хозрасчетных научных услуг для юридических лиц и граждан. Заключены договоры с 45 организациями из 17 стран; за 2011–2020 гг. привлечено на исследования свыше 1,9 млн долларов США. По результатам работы в 2017 г. Институт признан по-

бедителем среди организаций Отделения биологических наук и занесен на Доску почета НАН Беларуси.

Основные публикации: «Биологическое разнообразие Национального парка Браславские озера: сосудистые растения» / (Д. В. Дубовик и др., 2011), «Происхождение и эволюция мохообразных» (Г. Ф. Рыковский, 2011), «Кадастр типов сосновых лесов Белорусского Полесья» (Н. Ф. Ловчий, 2012), «Флора Беларуси. Грибы» (под ред. В. И. Парфенова, 2012, 2015), «Микобиота Национального парка Припятский» (О. С. Гапиенко и др., 2012), «Биологическое разнообразие Национального парка Браславские озера: мохообразные» (Г. Ф. Рыковский и др., 2012), «Гормональная активность стероидных гликозидов растений» (В. П. Шуканов и др., 2012), «Фенольные соединения в жизнедеятельности растений» (А. П. Волюнец, 2013), «Редкие биотопы Беларуси» (А. В. Пугачевский и др., 2013), «Оптимизация минерального питания растений» (Т. Г. Янчевская, 2014), «Биоразнообразие Березинского биосферного заповедника: сосудистые растения» (В. И. Парфенов и др., 2014), «Биологическое разнообразие Национального парка Браславские озера: грибы и лишайники» (О. С. Гапиенко и др., 2014), «Биологическое разнообразие Национального парка Нарочанский: сосудистые растения» (Д. В. Дубовик и др., 2014), «Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений» (2015), «Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений» (А. П. Волюнец и др., 2016), «Флора и растительность верховых болот Беларуси» (Н. А. Зеленкевич и др., 2016), «Атлас-определитель ксилотрофных грибов, кустистых и листоватых лишайников Национального парка Беловежская пуща» (Т. Г. Шабашова и др., 2016), «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., 2017), «Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование» (А. П. Волюнец и др., 2019), «Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь: основы кадастра. Первичное обследование, 2002–2017 гг.» (О. М. Масловский и др., 2019), «Флора Беларуси. Лишайники» (А. П. Яцына и др., 2019), «Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения» (Д. В. Дубовик и др., 2020) – отмечена премией НАН Беларуси 2020 г., «Рамсарские территории Беларуси: Болото Дикое» (Д. Г. Груммо и др., 2020), «Структура бриокомпонента хвой-

ных лесов Беларуси: таксономия, биоморфология, экология, география, зоология» (М. С. Малько, Г. Ф. Рыковский, 2020), «Методология и способы ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков» (Н. А. Ламан и др., 2020), «Природа Беларуси на рубеже тысячелетий» (2020), «Лихенобиота усадебных парков Минской области» (А. П. Яцына, 2021), «Биологическое разнообразие Полесского радиационно-экологического заповедника: сосудистые растения» (Д. В. Дубовик и др., 2021).

Дмитрий Геннадьевич Груммо – доктор биологических наук, доцент, четырнадцатый директор Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (с 2022 г. по настоящее время).

В 2022–2026 гг. в структуре Института произошёл ряд преобразований. Созданы лаборатории: оптимизации и мониторинга экосистем, биофотоники и стрессоустойчивости растений, иммунитета и биотехнологии растений, ресурсов и кадастра растительного мира; секторы экологической физиологии фитоинвазий, экоинформатики. Существенное развитие получило материально-техническое оснащение Института, что в итоге определило развитие новых направлений исследований в области молекулярной биологии, работ с большими объемами данных, применение технологий искусственного интеллекта, алгоритмов машинного обучения и геопространственного моделирования для изучения растительного покрова страны, цифровизации гербарных коллекций. По результатам работы в 2024 г. Институт признан победителем среди организаций Отделения биологических наук и занесен на Доску почёта НАН Беларуси.

На 01.08.2026 г. Институт включает 9 лабораторий, 2 сектора и отдел научной и инновационной работы. Численность сотрудников достигла 143 человек (125 исследователей, 1 академик, 2 члена-корреспондента, 5 докторов и 34 кандидата наук), из них 48,8% – молодые ученые; в аспирантуре обучается 18 человек.

За текущий период получен ряд важных результатов в области фундаментальных и прикладных научных исследований.

Разработано районирование территории Беларуси по характеру реакции сосновых и еловых лесов на изменение климата (А. В. Пугачевский), выявлено более 20 новых для флоры страны интродуцентов (Д. В. Дубовик), охарактеризовано разнообразие мико- и лихенобиоты дубрав (Т. Г. Шабашова, А. П. Яцына). Разработана методология комплексного тематического картографирования с использованием дистанционного

зондирования и ГИС-технологий, созданы современные крупно- и среднемасштабные геоботанические карты Беларуси (Д. Г. Груммо). Оценен аллелопатический потенциал инвазивных видов растений (В. Н. Прохоров), установлены свойства адаптогена растительного происхождения с гепатопротекторным действием (О. Л. Канделинская). Разработана фундаментальная концепция эколого-географических закономерностей формирования бриофлористических комплексов Беларуси в структуре бриофлор Восточной Европы, решившая крупную проблему криптогамной ботаники по системной оценке пространственного распределения мохообразных (О. М. Масловский).

По состоянию на 2025 г. развернута сеть мониторинга растительного мира из 835 пунктов наблюдения и комплексного мониторинга экосистем на ООПТ из 677 пунктов (А. В. Судник). Разработан программно-информационный комплекс поддержки решений по управлению растительными ресурсами с использованием данных дистанционного зондирования и машинного обучения. Подготовлен регламент участия белорусской стороны в международном изоляционном эксперименте SIRIUS-23 по имитации полета к Луне (О. В. Молчан). Выполнен скрининг микроскопических грибов – биодеструкторов в жилых помещениях Минска и создана соответствующая база данных (Т. Г. Шабашова); проведена идентификация микромицетов Восточной Антарктиды (О. А. Иванов). Подготовлен прогноз состояния лесных экосистем Беларуси до 2050 года, согласно которому продолжится усыхание хвойных лесов (А. В. Пугачевский). Опубликовано 5-е издание «Красной книги Республики Беларусь» (С. С. Савчук, Т. Г. Шабашова). Проведена инвентаризация 16 памятников природы г. Минска, подготовлены документы по ревитализации парка усадьбы Хрептовичей в Щорсах (И. П. Вознячук). Разработаны рекомендации по борьбе с инвазивными золотарниками и циклахеной дурнишниковидной с использованием гербицидов в экологически безопасных дозах (Н. А. Ламан, О. В. Молчан).

В рамках хозяйственных договоров подготовлены планы управления национальными парками «Беловежская пуща», «Нарочанский», «Припятский», ряда заказников и болот; научные и технико-экономические обоснования преобразования Национального парка «Нарочанский», стратегии развития экологического туризма для заказников, обоснования экологической реабилитации болот, планы действий по сохранению болот, проекты паспортов и охранных обязательств для более 350 мест произрастания краснокнижных видов растений и свыше 300 редких и типич-

ных биотопов (Р. В. Цвирко, Н. А. Зеленкевич, Д. Ю. Жилинский, Д. Г. Груммо). На основе изучения роста и развития инвазивных золотарников разработаны способы борьбы с ними с использованием гербицидов в экологически безопасных дозах, изданы соответствующие рекомендации и поданы две заявки на изобретения (Н. А. Ламан). Выполнена оценка инвазионного потенциала циклахены дурнишниковидной и разработан комплекс мер по ограничению ее распространения (О. В. Молчан).

Основные публикации: «Коллекция лишайников и близкородственных грибов Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK-L)» (А. П. Яцына, 2022), «Бриокомплексы Беларуси в системе флор мохообразных Восточной Европы» (О. М. Масловский, 2022), «Прогноз состояния природной среды Беларуси на период

до 2035 года» (2022), «Флора Беларуси. Сосудистые растения» (под ред. В. И. Парфенова, Д. В. Дубовика, 2023), «Наземные и дистанционные методы оценки состояния экосистем особо охраняемых природных территорий» (Д. Г. Груммо и др., 2023), «Бриофлора Полесья» (Г. Ф. Рыковский и др., 2023), «Видовое разнообразие лекарственных растений, используемых белорусами» (С. С. Савчук, 2023), «Лихенобиота хвойных лесов Беларуси» (А. П. Яцына, 2024), «Пряно-ароматические растения природной флоры Беларуси» (В. Н. Лебедько и др. 2025), «Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений» (2025), «Аллелопатический потенциал наиболее агрессивных инвазивных видов растений Беларуси» (В. Н. Прохоров, 2025).

В разные периоды 95-летней истории Института в нем работали выдающиеся белорусские ученые:

члены-корреспонденты АН СССР: В. Ф. Купревич (также являлся академиком АН БССР), А. А. Шлык;

академики АН БССР / НАН Беларуси: Н. М. Кулагин, А. Р. Жебрак, Т. Н. Годнев, М. Е. Макушок, Н. В. Турбин, М. П. Томин, Н. Д. Нестерович, И. Д. Юркевич, Н. А. Дорожкин, А. С. Вечер, Л. В. Хотылева, В. И. Парфёнов, В. Н. Решетников;

члены-корреспонденты АН БССР / НАН Беларуси: С. П. Мельник, И. Н. Сержанин, С. А. Самцевич, А. Н. Ипатьев, М. Н. Гончарик, В. Е. Бормотов, М. Т. Чайка, Б. И. Якушев;

доктора биологических наук П. А. Мавродида, А. В. Федюшин, Л. П. Розанов, С. М. Маштаков, И. Н. Рахтеенко, В. М. Терентьев, Л. П. Смоляк, А. В. Мироненко, А. Ф. Иванов, В. П. Деева, В. С. Гельтман, В. Л. Калер, З. Я. Серова, Н. В. Козловская, А. Н. Палилова, В. Г. Володин, А. И. Русаленко, Д. С. Голод, В. М. Иванченко, В. М. Юрин, А. П. Волынец, С. А. Дмитриева, Н. Ф. Ловчий, Г. Ф. Рыковский, А. Л. Ефремов, Л. А. Юрченко, В. В. Карпук, А. И. Заболотный, В. Г. Реуцкий, И. М. Степанович, В. В. Сарнацкий, Л. Е. Фридлянд, М. А. Бардышев, Е. Г. Петров и др.

В настоящее время работают:

академик НАН Беларуси Н. А. Ламан;

члены-корреспонденты НАН Беларуси: В. Н. Прохоров, В. В. Демидчик;

доктора биологических наук: О. М. Масловский, Д. Г. Груммо.

В современный период в Институте экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси функционируют следующие научные подразделения:

– лаборатория флоры и систематики растений (зав. лаб. к.б.н., доцент С. С. Савчук),

– лаборатория микологии (зав. лаб. к.б.н Т. Г. Шабашова),

– лаборатория геоботаники и картографии растительности (зав. лаб. к.б.н. А. В. Пучило),

– лаборатория проблем экологии леса и дендрохронологии (зав. лаб. к.б.н. А. В. Пугачевский),

– лаборатория оптимизации и мониторинга экосистем (зав. лаб. к.б.н., доцент А. В. Судник),

– лаборатория ресурсов и кадастра растительного мира (зав. лаб. д.б.н., доцент О. М. Масловский),

– лаборатория роста и развития растений (и.о. зав. лаб. к.б.н., доцент Ж. Н. Калацкая),

– лаборатория биофотоники и стрессоустойчивости растений (зав. лаб. к.б.н., доцент О. В. Молчан),

– лаборатория иммунитета и биотехнологии растений (и. о. зав. лаб. д.б.н., профессор В. В. Демидчик),

– сектор экологической физиологии фитоинвазий (зав. сектором к.б.н. Е. Н. Карасёва / Ивашутина),

– сектор экоинформатики (и.о. зав. сектором С. Г. Русецкий),

– отдел научной и инновационной работы (зав. отделом Е. М. Бабич).

К своему 95-летию юбилею коллектив Ордена Трудового Красного Знамени Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси подходит с уверенностью в будущем. Колоссальный опыт, признанные академические достижения и преемственность высококвалифицированных кадров, доказавших способность эффективно решать сложные задачи в меняющихся социально-экономических условиях, подтверждают: в XXI в. Институт продолжает играть ключевую роль в развитии природоохранной отрасли, лесного и сельского хозяйства страны. Сегодня перед учеными стоят приоритетные задачи по реализации фундаментальных и прикладных исследований в области воспроизводства, охраны и рационального использования биологических ресурсов страны. В фокусе внимания ученых находятся цифровые технологии и данных ДЗЗ, непрерывный мониторинг и прогнозирование изменений растительного покрова, а также разработка высокоэффективных техно-

логий реабилитации нарушенных природно-растительных комплексов, включая постчернобыльские территории. Особое значение приобретает раскрытие физиолого-биохимических и молекулярно-генетических механизмов устойчивости растений, внедрение биотехнологических инноваций, а также разработка адаптивных методов земледелия и луговодства. Научно-методическое обеспечение выполнения Республикой Беларусь международных конвенций, ведение Красной книги, развитие уникальных фондов академического Гербария позволяют Институту вносить весомый вклад в надежное обеспечение экологической безопасности государства. Значительный акцент в перспективных исследованиях отводится лесной науке: адаптация лесных экосистем к изменениям климата, лесная фитопатология и защита леса, биотехнологии лесных растений, цифровые двойники лесных экосистем, восстановление и сохранение «лесного» биоразнообразия, управление недревесными ресурсами леса.

Авторы выражают благодарность к.б.н., доценту Н. А. Зеленкевич за помощь в подготовке данного материала.

Поступила в редакцию 22.07.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Груммо Дмитрий Геннадьевич – доктор биологических наук, доцент, директор Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Пугачевский Александр Викторович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией проблем экологии леса и дендрохронологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Ламан Николай Афанасьевич – академик Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук профессор, главный научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Груммо, Д. Г. Институт экспериментальной ботаники: от истоков создания до современных достижений (к 95-летию образования учреждения) / Д. Г. Груммо, А. В. Пугачевский, Н. А. Ламан // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 9–26.

ФЛОРА И СИСТЕМАТИКА FLORA AND TAXONOMY

УДК 581.9 (476)

Д. В. ДУБОВИК, С. С. САВЧУК, В. Н. ЛЕБЕДЬКО

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТАВА АБОРИГЕННОЙ ФЛОРЫ БЕЛАРУСИ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: dvdubovik73@gmail.com; ovata@yandex.by; vladmir.flora@yandex.by*

Аннотация. В результате критической обработки гербарных материалов и на основе изучения литературных источников проведен анализ современного состава аборигенной фракции флоры Беларуси. Уточнен ее количественный состав, в результате чего выделены ведущие по количеству видов роды и семейства растений. К аборигенной фракции флоры следует отнести 1424 таксона высших сосудистых растений (из них 1082 вида и 342 гибрида). Среди них 51 вид (9(+1 гибрид) из отдела *Lycopodiophyta*, 8 (+7 гибридов) из отдела *Equisetophyta*, 29 видов (+18 гибридов) из отдела *Polypodiophyta*, 5 из отдела *Pinophyta* и 1031 вид *Magnoliophyta*. Наиболее крупные по количеству видов семейства флоры Беларуси *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*. Цветковые растения во флоре Беларуси объединяются в 412 родов, кроме того, имеется 21 род сосудистых споровых растений и 5 родов голосеменных растений (всего 438 родов высших сосудистых растений). Роды цветковых растений объединяются в 92 семейства, кроме того, имеется 14 семейств сосудистых споровых растений и 3 семейства голосеменных растений (всего насчитывается 110 семейств высших сосудистых растений).

Ключевые слова: флора, анализ флоры, аборигенная фракция, количественный состав.

D. V. DUBOVIK, S. S. SAVCHUK, V. N. LEBEDKO

MODERN COMPOSITION OF BELARUS'S NATIVE FLORA: TAXONOMIC ANALYSIS

*V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: dvdubovik73@gmail.com; ovata@yandex.by; vladmir.flora@yandex.by*

Abstract. As a result of a critical processing of herbarium materials and based on the analysis of literary sources, we have analyzed the current composition of the native fraction of the flora of Belarus. Its quantitative composition has been clarified, and the leading genera and families of plants in terms of the number of species have been identified. The native fraction of the flora includes 1424 taxa of higher vascular plants (including 1082 species and 342 hybrids). Among them, 51 species (9 (+1 hybrid) from the *Lycopodiophyta*, 8 (+7 hybrids) from the *Equisetophyta*, 29 species (+18 hybrids) from the *Polypodiophyta*, 5 from the *Pinophyta* and 1031 species of *Magnoliophyta*. The largest families in terms of the number of species in the flora of Belarus are *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*. Flowering plants in the flora of Belarus are grouped into 412 genera, plus 21 genera of spore-bearing vascular plants and 5 genera of gymnosperms (total of 438 genera of highest vascular plants). Flowering plant genera are grouped into 92 families, plus 14 families of higher spore-bearing plants and 3 families of gymnosperms (total 110 families of vascular plants).

Key words: flora, flora analysis, native fraction, quantitative composition.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ флоры любой территории всегда является очень важным этапом изучения состава составляющих её элементов и историческим срезом накопившихся научных данных на текущий момент. При проведении какого-либо анализа всегда существуют некоторые субъективные моменты, и он отражает понимание анализируемых флористических единиц конкретно тем или иным автором. В данном вопросе не существует и вряд ли когда-либо будет существовать единое мнение и подход, поскольку флора конкретной территории имеет всегда сложную и неоднозначную историю формирования. Порой из-за недостатка данных мы не можем с полной уверенностью отнести тот или иной вид к аборигенной или чужеродной фракции флоры в пределах Беларуси, а тем более в пределах смежных стран, так как разными исследователями таксоны могут рассматриваться в разном статусе. В качестве характерных примеров можно привести *Salvia pratensis* L. (аборигенный вид в южной части страны и заносный в более северных районах Беларуси), *Valeriana dioica* L. (вероятно, аборигенный в западной части и заносный в Минской области). Еще одним спорным моментом является факт признания или, наоборот, отвержения сложных в систематическом отношении таксонов, а также так называемых «микровидов», например, в родах *Taraxacum* Wigg., *Ranunculus* L., *Pilosella* Hill, *Hieracium* L., *Trapa* L. и др. Если принимать объем вида в роде *Taraxacum* в широком смысле, то в Беларуси известно 3 вида одуванчиков, а если выделять «микровиды», или так называемые апомиктические виды, то это число по

нашим данным будет 61, хотя и оно не является окончательным, поскольку при более глубокой обработке всех таксонов этого рода в дальнейшем может существенно возрасти.

Список аборигенной фракции флоры Беларуси постоянно корректируется из-за появившихся новых систематических обработок видов, родов и семейств растений, углубленного изучения отдельных таксонов, в том числе и современными молекулярно-генетическими методами, продолжается его пополнение благодаря новым находкам видов и гибридов, которые сделаны в последние десятилетия. Существенные (революционные) изменения в систематике растений произошли в конце XX в., когда на смену традиционным морфологическим системам цветковых растений пришли молекулярно-филогенетические, которые разрабатываются большим коллективом исследователей и, постоянно обновляются. С начала первой публикации новой системы цветковых растений (1998 г.) вышло несколько её обновленных вариантов, последний из которых датируется 2016 г. [1, 2]. Согласно этим таксономическим системам, существенно пересмотрены объемы многих семейств и родов, в результате чего произошла значительная ротация таксонов, что делает сравнение данных, опубликованных ранее, с более современными не совсем корректными и субъективными. Тем не менее, для понимания современного состава аборигенной флоры, несмотря на некоторые сложные моменты при её анализе, подобные исследования важны, они открывают возможности для дальнейших дискуссий и более точного анализа.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом наших исследований является аборигенный компонент флоры Беларуси. Критически изучены и пересмотрены некоторые сложные в систематическом отношении таксоны флоры страны (*Hieracium*, *Polygala* L., *Valeriana*, *Achillea* L., *Alchemilla* L. и др.), которые собраны преимущественно в последние годы (1980–2024 гг.) и хранятся в Гербарии ИЭБ НАН Беларуси (MSK–V). Кроме основных белорусских Гербариев (MSK, MSKU и др.) учтены материалы и в ряде зарубежных коллекций (KW, LE, LECB, MW, KRAM, WA, WI). При работе с гербарными образцами использованы общепринятые методики [3]. Номенклатура таксонов принята преимущественно по электронной базе данных Миссурийского ботанического сада «Tropicos» [4] с учетом некоторых последних публикаций [5–15 и др.].

Пренебрегаемыми единицами при подсчете были таксоны ниже видового ранга. Мы сознательно не учитывали и некоторые спорные с таксономической точки зрения виды и гибриды [6, 12–14 и др.], которые указывались в литературе для флоры страны в последние годы, но требуют дополнительных исследований (в том числе и молекулярно-генетических) относительно их ранга и обособленности от уже известных ранее таксонов. В частности, *Polygala decipiens* Bess. сейчас рассматривается лишь как экологическая форма *P. amarella* Crantz [6], а образцы *P. cretacea* Kotov из Беларуси [12], по нашему мнению, относятся к *P. wolfgangiana* Bess. ex Szaf., Kulcz. et Pawl. Соответственно, описанный недавно нототаксон *P. × kotovii* Val. Tikhom. представляет собой гибрид *P. wolfgangiana* × *P. comosa* Crantz. Более углубленных исследований требуют и но-

вые виды из родов *Cytisus* Desf., *Trapa*, *Vaccinium* L., *Rhododendron* L., *Campanula* L., приводимые недавно для флоры страны в литературных источниках [6, 13–15]. Для отнесения таксонов к аборигенной или адвентивной фракциям флоры мы тщательно проанализировали литературные источники по смежным с Беларусью регионам [15–21], учитывали их приуроченность к естественным или нарушенным местам произраста-

ния, первичные сроки регистрации во флоре страны, удаленность от основного ареала, также исключили из списка археофиты, которые ранее могли включаться в состав аборигенной фракции флоры [22–28]. Объем семейств принят в соответствии с молекулярно-филогенетической системой APG IV [2], с некоторыми корректировками, согласно ряду других публикаций [6–10, 19, 21] и таксономическим взглядам авторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что в Беларуси имеется целый ряд публикаций, касающихся видового состава аборигенной фракции флоры, в литературе существует значительные расхождения по количеству видов, входящих в её состав [7, 22]. Так, согласно подсчетам Н. В. Козловской [22], во «Флоре БССР» [24–28] описано 1397 аборигенных (дикорастущих) видов растений. По ситуации на 1977 г. указано уже 1550 аборигенных видов растений [22]. Данные подсчеты, несомненно, имели большую значимость и актуальность для своего времени, однако за этот период произошли большие изменения в номенклатуре видов, их объеме, понимании разными авторами статуса видов (аборигенный таксон или адвентивный). В дальнейшем некоторые виды, включаемые Н. В. Козловской [22, 29] в аборигенный компонент флоры по результатам более тщательного анализа и углубленных исследований, учета новых публикаций, стали рассматриваться во флоре Беларуси как адвентивные растения (*Chenopodium bonus-henricus* L., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Impatiens parviflora* DC., *Ranunculus bulbosus* L., *Rosa tomentosa* (L.) Sm., *Ribes alpinum* L., *Sambucus racemosa* L., *Atriplex oblongifolia* Waldst. et Kit. и др.). Поэтому приводимые тогда численные показатели аборигенных видов, по нашему мнению, несколько завышены.

По нашим подсчетам в «Определителе растений Беларуси» 1999 г. [23] указано 1093 вида (без учета небольшого количества гибридов), которые в современном понимании нами относятся к аборигенной фракции флоры. Сюда также не вошли некоторые виды, принимаемые нами сейчас как синонимы других таксонов (*Thalictrum flexuosum* Bernh. ex Reichenb., nom. illeg., *Dianthus stenocalyx* (Trautv.) Juz., *Pimpinella dissecta* Retz., *Galium septentrionale* Roem. et Schult., *Euphrasia brevipila* Burn. et Gremli, *E. fennica* Kihlm., *Rhinanthus serotinus* (Schönh.) Oborný, *Achillea submillefolium* Klok. et Krytzka и др.) или явно ошибочные указания (*Nymphaea tetragona* Georgi, *Ranunculus nemorosus* DC., *Viola selkirkii* Pursh., *Euphorbia borodinii* Sambuk, *Sedum villosum* L., *Malus praecox* (Pall.) Borkh., *Alchemilla wlasii*

Pawl., *Trifolium spryginii* Belaeva et Sipl., *Epi-lobium nervosum* Boiss. et Buhse, *E. obscurum* Schreb., *Peucedanum ostruthium* (L.) W.D.J. Koch, *Galium dasypodum* Klok., *G. rubioides* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Callitriche hamulata* Kütz. ex W.D.J. Koch, *C. stagnalis* Scop., *Carlina vulgaris* L., *Cirsium erisithales* (Jacq.) Scop., *Serratula coronata* L., *S. heterophylla* L., *Centaurea pannonica* (Heuff.) Simonk., *Chondrilla graminea* Bieb., *Ch. latifolia* Bieb., *Leontodon danubialis* Jacq., *Sparganium angustifolium* Michx. и др.), что выяснено после выхода «Определителя ...» на основании анализа литературных данных [8–10 и др.], изучения доступных гербарных материалов.

Позже (по состоянию на 2014 г.) мы провели анализ адвентивного и аборигенного компонентов флоры Беларуси [30] с учетом имеющихся у нас данных на этот период. К аборигенному компоненту флоры можно было отнести тогда около 1400 таксонов высших сосудистых растений с учетом гибридов.

В последнее время постоянно возникает вопрос о точном количестве аборигенных видов растений во флоре Беларуси на данный момент. Как подчеркивалось выше, любые подсчеты такого большого и разнородного материала по своему происхождению, сложной истории миграции и закрепления флористических элементов не лишены субъективизма. Всегда существует неоднородный и противоречивый подход к процессу отнесения того, или иного таксона к аборигенной или адвентивной фракциям в зависимости от уровня квалификации и познаний исследователей, наличия достоверных данных, литературных источников и массы других сопутствующих факторов. Однако, проведение подобного анализа является важным этапом изучения флоры в историческом аспекте.

По нашим данным на начало 2026 г. к аборигенной фракции флоры следует отнести 1424 таксона высших сосудистых растений (из них 1082 вида и 342 гибрида). Среди них споровых и голосеменных растений 51 вид (9(+1) из отдела *Lycopodiophyta* D. H. Scott (Плаунообразные, включая класс *Isoetopsida* Rolle), 8 (+7 гибридов)

из отдела Хвощегообразные (*Equisetophyta* D. H. Scott), 29 видов (+18 гибридов) из отдела Папоротникообразные (*Polypodiophyta* Cronquist, Takht. et Zimmerm.) и 5 из отдела голосеменные (*Pinophyta* Cronquist, Takht. et W. Zimm. ex Reveal) и 1031 вид цветковых растений (*Magnoliophyta* Cronquist, Takht. et W. Zimm. ex Reveal.). По более ранним таксономическим классификациям 726 из них можно отнести к классу двудольных (*Magnoliopsida* Cronquist, Takht. et W. Zimm. ex Reveal.) и 305 к классу однодольных (*Liliopsida* Cronquist, Takht. et W. Zimm. ex Reveal.) растений. Кроме того, известно 26 гибридов среди сосудистых споровых растений и 316 у цветковых растений (196 гибридов у двудольных и 120 у однодольных). Эти показатели практически совпадают с данными, опубликованными нами ранее [30].

Наиболее крупные по количеству видов семейства флоры Беларуси представлены в табл. 1. Здесь, как и в смежных с территорией Беларуси регионах, по степени убывания идут семейства *Asteraceae* Bercht. et J. Presl, *Cyperaceae* Juss., *Poaceae* Barnhart, *Rosaceae* Juss., *Ranunculaceae* Juss., что характерно в целом для умеренной зоны северного полушария. По сравнению, с ранее опубликованными данными [22], незначительно изменился ранг второго и третьего семейств и на более высокие позиции в их ранжировании вышли семейства *Ranunculaceae*, *Orchidaceae* Juss., *Plantaginaceae* Juss.

Это объясняется прежде всего тем, что мы исключили из состава этих семейств адвентивные виды (включая археофиты), гибриды (например, в роде *Pilosella* Hill.), к тому же из-за более углубленного изучения отдельных таксонов существенно возросло количество видов в таких се-

мействах, как *Ranunculaceae*, *Orchidaceae*, хотя мы преднамеренно не включали в анализ большое число «микровидов» в роде *Ranunculus*. Более высокий ранг семейства *Plantaginaceae* объясняется тем, что благодаря развитию систематики растений и использованию новейшей молекулярно-филогенетической системы цветковых растений, в состав этого семейства вошли роды, которые ранее рассматривались в пределах других семейств. Также существенной корректировке подверглось семейство *Brassicaceae* Burnett, ранг которого понизился из-за исключения большой группы адвентивных растений, которые ранее включались в состав аборигенной фракции флоры.

Цветковые растения во флоре Беларуси объединяются в 412 родов, кроме того, имеется 21 род сосудистых споровых растений (без более мелкого дробления рода *Botrychium* L.) и 5 родов голосеменных растений (всего 438 родов высших сосудистых растений). Роды цветковых растений объединяются в 92 семейства, кроме того, имеется 14 семейств сосудистых споровых растений и 3 семейства голосеменных растений (всего насчитывается 110 семейств высших сосудистых растений).

Наибольшее количество родов во флоре Беларуси представлено в семействах *Asteraceae*, *Poaceae*, *Apiaceae* Lindl., *Orchidaceae*, *Caryophyllaceae* Juss. и др. (табл. 2). Эти данные практически совпадают с ранее опубликованными материалами [22] и подчеркивают значимость данных семейств в составе флоры страны. Однако на более высокие позиции выдвинулись семейства *Orchidaceae* и *Ericaceae* Juss. Это связано прежде всего с тем, что для семейства *Orchidaceae* в последние десятилетия пересмотрен статус некото-

Таблица 1. Спектр ведущих семейств флоры Беларуси

Table 1. Spectrum of leading families of the flora of Belarus

Ранг	Семейства	Количество видов	% от общего числа видов цветковых растений
1	<i>Asteraceae</i>	116	11,2
2	<i>Cyperaceae</i>	89	8,6
3	<i>Poaceae</i>	84	8,1
4	<i>Rosaceae</i>	58	5,6
5	<i>Ranunculaceae</i>	47	4,5
6	<i>Fabaceae</i>	44	4,2
7	<i>Orchidaceae</i>	43	4,1
8	<i>Caryophyllaceae</i>	42	4,0
9	<i>Plantaginaceae</i> , <i>Lamiaceae</i>	по 28	по 2,7
10	<i>Apiaceae</i>	27	2,6

Таблица 2. Спектр многородовых семейств флоры Беларуси

Table 2. Spectrum of multigeneric families of the flora of Belarus

Ранг	Семейства	Количество родов	% от общего числа родов цветковых растений
1	<i>Asteraceae</i>	46	4,4
2	<i>Poaceae</i>	41	3,9
3	<i>Apiaceae</i>	25	2,4
4	<i>Orchidaceae</i>	21	2,0
5	<i>Caryophyllaceae</i>	19	1,8
6	<i>Lamiaceae</i>	18	1,7
7	<i>Rosaceae</i>	16	1,5
8	<i>Ranunculaceae</i>	15	1,4
9	<i>Ericaceae</i> , <i>Cyperaceae</i>	по 14	по 1,3
10	<i>Fabaceae</i>	13	1,2

рых таксонов и крупные роды разделены на ряд более мелких. Семейство *Ericaceae* вышло в лидирующие позиции из-за включения в него семейств *Monotropaceae* Arn., *Vacciniaceae* Gray, которые ранее рассматривали в качестве отдельных таксонов. Незначительные изменения произошли и в составе других семейств, где также идут постоянные процессы объединения, или наоборот, дробления родов, что связано с современными достижениями, преимущественно молекулярно-генетических исследований отдельных родов цветковых растений.

Крайне интересным является анализ спектра многовидовых родов флоры Беларуси (табл. 3). Прежде всего, это связано с тем, что за последние десятилетия систематиками и флористами Беларуси, а также смежных регионов, проведено углубленное критико-систематическое изучение значительного количества многовидовых родов флор. Это позволило существенно уточнить количественный состав некоторых родов. И если отдельные роды практически не изменились в отношении количества видов (*Carex* L., *Salix* L., *Galium* L., *Campanula* L., *Poa* L. и др.), то в других произошли значительные изменения по сравнению с ранее опубликованными данными [22]. В роде *Alchemilla* L. количество видов возросло до 21, хотя по состоянию на 1999 г. их было 17 [23]. Существенно пересмотрен и состав рода *Hieracium* L., в котором сейчас насчитывается 35 видов, причем без учета рода *Pilosella*, представители которого ранее относили к нему [22]. Увеличилось и число видов в роде *Ranunculus*, не только за счет включения в него рода *Batrachium* (DC.) Gray, но также в связи с выделением новых

таксонов для флоры страны [10]. С другой стороны, уменьшилось количество видов в роде *Trifolium* L. из-за разделения его на 3 отдельных рода (*Trifolium*, *Lupinaster* Adans., *Chrysaspis* Desv.), а также в роде *Potamogeton* L., поскольку виды из его состава сейчас рассматриваются в рамках двух отдельных родов (*Potamogeton* и *Stuckenia* Borner) [8]. Некоторые ротации произошли и в других родах растений (*Veronica* L., *Potentilla* L., *Rumex* L., *Dactylorhiza* Neck. ex Nevski, *Cirsium* L.), что связано преимущественно с уточнением статуса нативности (аборигенности) некоторых видов, пересмотра их таксономического ранга.

Данные многовидовые роды требуют первоочередного внимания флористов и систематиков страны, поскольку при их более тщательном критико-систематическом изучении, особенно с применением современных молекулярно-генетических методов, открываются перспективы для пересмотра входящих в них таксонов. Причем это может быть предполагаемое увеличение количества видов в родах (*Hieracium*, *Alchemilla*, *Potentilla*), или даже уменьшение (*Dactylorhiza*).

За последние десятилетия уменьшилось количество видов в роде *Pilosella* [23], где сейчас принято выделять 7 анцестральных видов и комплекс гибридов, причем с участием более чем двух основных видов. Остается спорным статус некоторых сезонных рас (иногда признаваемых в качестве видов) в родах *Euphrasia* L., *Melampyrum* L., *Rhinanthus* L., *Odontites* Ludw., *Pedicularis* L., *Gentianella* Moench, однако в последнее время они, чаще всего, рассматриваются в широком смысле [4, 6, 19–21 и др.].

При анализе родового спектра, как уже отмечалось ранее, мы сознательно не включали в него многочисленные «микровиды» в родах *Taraxacum* и *Ranunculus*. В роде *Taraxacum* в Беларуси известно 3 основных вида одуванчиков, а если учесть «микровиды», то это число будет 61, хотя и оно не окончательное, поскольку специальные углубленные исследования этого рода ещё масштабно не проводились. В роде *Ranunculus*, кроме 20 основных видов, известно на данный момент 116 «микровидов» из aggr. *R. auricomus*, *R. cassubicus*, *R. fallax* [10, 31].

В дальнейшем более углубленных исследований, в том числе и с применением молекулярно-генетических методов, требуют не менее 30 родов растений аборигенной флоры Беларуси (*Stellaria* L., *Dianthus* L., *Viola* L., *Euphorbia* L., *Alchemilla*, *Potentilla*, *Anthyllis* L., *Cytisus* Desf., *Lotus* L., *Trapa* L., *Polygala* L., *Pimpinella* L., *Euphrasia*, *Melampyrum*, *Valeriana* L., *Galium*, *Myosotis* L., *Symphytum* L., *Campanula*, *Achillea* L., *Carlina* L., *Centaurea* L., *Cirsium* L., *Crepis* L., *Hieracium*,

Таблица 3. Спектр многовидовых родов флоры

Table 3. Spectrum of multispecies flora genera

Ранг	Род	Количество видов	% от общего числа видов цветковых растений
1	<i>Carex</i>	64	6,2
2	<i>Hieracium</i>	35	3,4
3	<i>Alchemilla</i>	21	2,0
4	<i>Ranunculus</i>	20	1,9
5	<i>Potamogeton</i>	16	1,5
6	<i>Veronica</i> , <i>Salix</i> , <i>Juncus</i> , <i>Galium</i>	по 15	по 1,4
7	<i>Viola</i>	14	1,3
8	<i>Campanula</i> , <i>Potentilla</i> , <i>Rumex</i>	по 10	по 0,9
9	<i>Stellaria</i> , <i>Dactylorhiza</i> , <i>Poa</i>	по 9	по 0,8
10	<i>Lathyrus</i> , <i>Trifolium</i> , <i>Vicia</i> , <i>Cardamine</i> , <i>Cirsium</i>	по 8	по 0,7

Pilosella, *Ptarmica* Mill., *Tragopogon* L., *Alisma* L., *Epipactis* Zinn, *Dactylorhiza*, *Juncus* L., *Festuca* L., *Hierochloë* R. Br., *Phleum* L., *Phragmites* L. и др.). Несмотря на то, что уже опубликованы некоторые критико-систематические обработки отдельных родов [5–10, 12–15 и др.], остаются многие спорные моменты относительно таксономического ранга некоторых видов, их широкого признания, или отвержения, полиморфизма, происхождения, полноты знаний об объеме родов. Следует признать, что выделение многих критических таксонов во флоре Беларуси базируется преимущественно на основании классического морфолого-географического метода с учетом анализа обширных литературных данных, опыта и знаний конкретных исследователей. Отчасти также использовались полученные материалы по кариологии видов в Беларуси, статистические, молекулярно-генетические данные, учитывалась экологическая приуроченность видов. Однако, более широко следует применять современные достижения молекулярной генетики с более глубоким анализом всего родового спектра таксонов и более качественной и массовой выборкой исследуемых образцов.

Конечно, весьма отраднo, что довольно глубокому критико-систематическому анализу подвергнуты роды *Cytisus*, *Pragmites*, *Campanula*, *Trapa*, *Polygala*, *Rhododendron* L., *Vaccinium* [6, 13–15 и др.], однако с учетом лишь небольших и зачастую количественных признаков, преимущественно на основании морфологических отличий, выделение новых видов, по нашему мнению, не всегда оправдано и преждевременно. Должны проводиться более глубокие исследования с применением современных методов и анализа полученных данных, с учетом возможности гибридизации таксонов и приданию гибридным формам соответствующего статуса, а не выделения комплекса видов, которые отличить из-за перекрытия признаков невозможно.

Также существует и неоднозначная трактовка в литературе [32, 33] относительно включения в аборигенный компонент флоры явно адвентивных по происхождению видов (*Allium lusitanicum* Lam., представителей рода *Bolboschoenus* (Asch.) Palla), которые приурочены к синантропным местам произрастания и фиксируются во флоре страны преимущественно в последние десятилетия. Конечно, всегда существует соблазн увеличить список аборигенных видов, однако необходим тщательный анализ их распространения в сопредельных с Беларусью регионах, времени первичного появления здесь с учетом их эколо-

гической приуроченности и возможности натурализации из культуры, или благодаря иным факторам заноса.

Отдельно необходимо остановиться на изучении процессов гибридизации в становлении аборигенной фракции флоры. До недавнего времени гибриды во флоре Беларуси были изучены относительно фрагментарно, им придавали мало внимания [23, 24–28], или часто они просто игнорировали. Однако наличие гибридов и частота встречаемости в прошлые исторические эпохи, а также в настоящее время создают сложности в понимании исследователями самой структуры флоры, её таксономического разнообразия, процессов видообразования, устойчивости таксонов на границах ареалов. Более углубленно и детально нототаксоны стали изучать в Беларуси лишь в последние десятилетия [7–10 и др.].

Если проанализировать спектр родов флоры Беларуси по наличию в них гибридов (табл. 4), то на ведущие позиции с высокой степенью протекания гибридизационных процессов выходят роды *Carex*, *Salix*, *Pilosella*, *Viola*, *Dactylorhiza*, *Potamogeton*, *Ranunculus* и др., где уже зарегистрировано от 11 до 50 и более нототаксонов. Данные роды традиционно считаются сложными в систематическом отношении, с большим таксономическим разнообразием. Из-за гибридизационных процессов, которые протекают в этих родах постоянно, исследователями флоры Беларуси фиксируются новые нототаксоны, уточняется ранг ранее описанных таксонов.

Таблица 4. Спектр родов флоры с наибольшим количеством гибридов в них

Table 4. Spectrum of flora genera with the largest number of hybrids in them

Ранг	Род	Количество гибридов в роде
1	<i>Carex</i>	51
2	<i>Salix</i>	43
3	<i>Pilosella</i>	26
4	<i>Viola</i>	19
5	<i>Dactylorhiza</i>	17
6	<i>Potamogeton</i>	16
7	<i>Ranunculus</i>	11
8	<i>Equisetum</i> L.	7
9	<i>Dryopteris</i> , <i>Agrostis</i> , <i>Betula</i> , <i>Persicaria</i>	по 6
10	<i>Pulsatilla</i> , <i>Sparganium</i> , <i>Euphorbia</i> , <i>Potentilla</i> , <i>Epilobium</i> , <i>Galium</i> , <i>Calamagrostis</i>	по 4

Не менее сложными в систематическом отношении являются из-за процессов гибридизации роды *Alisma*, *Stellaria*, *Helianthemum* Mill., *Cardamine* L., *Anthyllis*, *Cytisus*, *Lotus*, *Polygala*, *Euphrasia*, *Valeriana*, *Myosotis*, *Achillea*, *Artemisia* L., *Tragopogon* L., *Koeleria* Pers., *Festuca*, *Eleocharis* R. Br. В этих родах также протекают микроэволюционные процессы, в которых немалую роль играет, или играла ранее межвидовая гибридизация с последующей морфологической и экологической дифференциацией исходных форм.

В последние годы нами зафиксировано несколько новых для флоры страны нототаксонов, которые еще не упоминались в литературе – *My-*

riophyllum × *hybridum* A. A. Bobrov, P. Volkova et M. O. Ivanova (*M. sibiricum* Kom. × *M. spicatum* L.), *Utricularia* × *ochroleuca* R.W. Hartm. (*U. intermedia* Hayne × *U. minor* L.), *Callitriche cophocarpa* Sendtner × *C. palustris* L. Несомненно, в дальнейшем список новых нототаксонов будет увеличиваться и корректироваться.

Кроме межвидовых гибридов во флоре Беларуси также известны межродовые гибриды, которые объединяются в три ноторода – × *Dactylodenia* H. Garay et H. R. Sweet, × *Dactylanthera* J. M. H. Shaw, × *Dactylocamptis* B. Bock. [9]. Это подчеркивает сложные гибридизационные процессы, которые протекают среди отдельных представителей в семействе *Orchidaceae*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе критической обработки гербарных материалов и на основе анализа литературных источников нами уточнен современный состав аборигенной фракции флоры Беларуси. К аборигенной фракции флоры следует отнести 1424 таксона высших сосудистых растений (из них 1082 вида и 342 гибрида). Среди них споровых и голосеменных растений 51 вид (9 (+1 гибрид) из отдела *Lycopodiophyta*, 8 (+7 гибридов) из отдела *Equisetophyta*, 29 видов (+18 гибридов) из отдела *Polypodiophyta* и 5 из отдела *Pinophyta* и 1031 вид *Magnoliophyta*.

Наиболее крупные по количеству видов семейства флоры Беларуси *Asteraceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*. Цветковые растения во флоре Беларуси объединяются в 412 родов, кроме того, имеется 21 род сосудистых споровых растений и 5 родов голосеменных растений (всего 438 родов высших сосудистых растений). Роды цветковых растений объединяются в 92 семейства, кроме того, имеется 14 семейств сосудистых споровых растений и 3 семейства голосеменных растений (всего насчитывается 110 семейств высших сосудистых растений).

Наибольшее количество родов во флоре Беларуси представлено в семействах *Asteraceae*, *Poaceae*, *Apiaceae*, *Orchidaceae*, *Caryophyllaceae*. Наиболее крупные по количеству видов роды *Carex*, *Hieracium*, *Alchemilla*, *Ranunculus*, *Potamogeton*.

Если проанализировать спектр родов флоры Беларуси по наличию в них гибридов, то на ведущие позиции с высокой степенью протекания гибридизационных процессов выходят роды *Carex*, *Salix*, *Pilosella*, *Viola*, *Dactylorhiza*, *Potamogeton*, *Ranunculus*, где зарегистрировано от 11 до 50 и более нототаксонов.

В качестве перспектив изучения аборигенной фракции флоры Беларуси можно выделить несколько основных направлений.

В первую очередь в более глубоких исследованиях с применением молекулярно-генетических методов нуждаются сложные в систематическом отношении роды и виды растений, в том числе с наличием апомиктических таксонов. Уже к настоящему времени, но только на основании классических методов флористических исследований, довольно подробно изучены некоторые таксоны в родах *Ranunculus*, *Dactylorhiza*, *Cytisus* L. и др. [9,10, 13, 31], однако критической обработки требуют и другие роды растений во флоре Беларуси – *Viola*, *Hieracium*, *Pilosella*, *Alchemilla*, *Galium*, *Anthyllis* L. и др. Данные исследования помогут откорректировать количественный состав видов и внутривидовых таксонов в пределах этих родов, понять эволюционные процессы, которые свойственны этим группам растений, объяснить полиморфизм ряда таксонов.

Отдельной и очень перспективной задачей дальнейших исследований является изучение процессов межвидовой гибридизации среди аборигенных видов во флоре Беларуси. Уже на данном этапе, с учетом полученных ранее знаний, мы видим сложную картину межвидовой гибридизации среди ряда родов растений, где насчитывается как минимум более двух таксонов. Еще более сложная ситуация наблюдается в многовидовых родах, где гибридизационные процессы протекают более активно, а иногда гибридные клоны могут вытеснять даже родительские виды.

Также большой интерес вызывает изучение внутривидовой изменчивости растений. Из-за разнообразия природных факторов, которые оп-

ределяют геоморфологические, почвенные, гидрологические, ландшафтные и климатические условия страны наблюдается изменчивость отдельных таксонов растений в разных частях Беларуси. Габитуально это может проявляться у растений на основании изменчивости одного или нескольких признаков (иногда различия в широтном или долготном диапазоне довольно значительные).

В продолжении нуждается также и кариологическое исследование флоры Беларуси. Это позволит дополнить уже полученные данные по

хромосомным числам некоторых видов растений флоры страны и выявить новые особенности формирования кариологических рас.

Приведенные направления исследований позволят более качественно и объективно оценить состав аборигенной фракции флоры Беларуси, выяснить процессы взаимоотношения таксонов и эволюционного развития современной флоры страны, что особенно важно для точной дифференциации сложных полиморфных комплексов и микровидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельтман, Д. В. Современные системы цветковых растений / Д. В. Гельтман // Ботанический журнал. – 2019. – Т. 104, № 4. – С. 503–521.
2. APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // Bot. J. Linn. Soc. – 2016. – Vol. 181(1). – P. 1–20.
3. Гербарное дело : справочное руководство / под ред. Д. В. Гельмана. – Кью : Королевский ботанический сад, 1995. – 341 с.
4. Tropicos.org : [сайт] / Missouri Botanical Garden. – URL: tropicos.org (дата обращения: 18.02.2026).
5. Конспект флоры Восточной Европы. – Т. 1 / под ред. Н. Н. Цвелева. – М. ; СПб. : Т-во науч. изд. КМК, 2012. – 630 с.
6. Конспект флоры Восточной Европы. – Т. 2, ч. 1 / под ред. Д. Г. Мельникова. – СПб. ; М. : Т-во науч. изд. КМК, 2025. – 598 с.
7. Флора Беларуси. Сосудистые растения : в 6 т. / под общ. ред. В. И. Парфенова. – Мн. : Беларуская навука, 2009. – Т. 1 : Lycopodiophyta. Equisetophyta. Polypodiophyta. Ginkgophyta. Pinophyta. Gnetophyta. – 199 с.
8. Флора Беларуси. Сосудистые растения : в 6 т. / под общ. ред. В. И. Парфенова. – Мн. : Беларуская навука, 2013. – Т. 2 : Liliopsida (Acoraceae – Zannichelliaceae). – 447 с.
9. Флора Беларуси. Сосудистые растения : в 6 т. / под общ. ред. В. И. Парфенова. – Мн. : Беларуская навука, 2017. – Т. 3 : Liliopsida (Agavaceae – Trilliaceae). – 573 с.
10. Флора Беларуси. Сосудистые растения : в 6 т. / под общ. ред. В. И. Парфенова, Д. В. Дубовика. – Мн. : Беларуская навука, 2023. – Т. 4 : Magnoliopsida. – 743 с.
11. Дубовик, Д. В. *Cyperus hamulosus* M. Bieb. (Cyperaceae) – новый аборигенный вид для флоры Беларуси / Д. В. Дубовик, А. О. Саулов, А. Н. Скуратович // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2017. – Вып. 46. – С. 322–326.
12. Тихомиров, Вал. Н. Род *Polygala* (Polygalaceae) во флоре Белоруссии / Вал. Н. Тихомиров // Бот. журн. – 2004. – Т. 89, № 4. – С. 652–662.
13. Sennikov, A. N. Atlas Florae Europaeae notes, 33. Taxonomic synopsis of East European species of the *Cytisus ratisbonensis* group (Fabaceae) / A. N. Sennikov, V. N. Tikhomirov // PhytoKeys. – 2024. – V. 238. – P. 157–197.
14. Тихомиров, Вал. Н. Обзор видов *Phragmites* (Poaceae) Беларуси / Вал. Н. Тихомиров // Новости систематики высших растений. – 2021. – Т. 52. – С. 18–20.
15. Тихомиров, Вал. Н. Таксономическое разнообразие семейства Ericaceae во флоре Беларуси / Вал. Н. Тихомиров, С. В. Кубрак, П. С. Амелишко // Новости систематики высших растений. – 2024. – Т. 55. – С. 81–96.
16. Gudžinskas, Z. Lietuvos induočiai augalai. Vascular plants of Lithuania / Z. Gudžinskas. – Vilnius : Institute of Botany, 1999. – 211 p.
17. Mosyakin, S. L. Vascular plants of the Ukraine: a nomenclatural checklist / S. L. Mosyakin, M. M. Fedoronchuk. – Kiev, 1999. – 345 p.
18. Mirek, Z. Flowering plants and Pteridophytes of Poland. A Checklist / Z. Mirek, H. Piekos-Mirkowa, H. Zajac, M. Zajac. – Krasow : W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 2002. – 442 p.
19. Stalazs, A. List of vascular plants of Latvia (with Latvian names). Latvijas vaskulāro augusaraksts (ar latviskajiem nosaukumiem) / A. Stalazs // Raksti par Dabu. – 2024. – V. 3. – P. 1–312.
20. Ефимов, П. Г. Конспект флоры Псковской области (сосудистые растения) / П. Г. Ефимов, Г. Ю. Конечная. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2018. – 471 с.
21. Маевский, П. Ф. Флора средней полосы европейской части России / П. Ф. Маевский. – 11-е изд. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 635 с.
22. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности ее формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Мн. : Наука и техника, 1978. – 128 с.
23. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. – Мн. : Дизайн ПРО, 1999. – 471 с.
24. Флора БССР : в 5 т. / под ред. Б. К. Шишкина, Н. А. Дорожкина. – Мн. : Изд-во АН БССР, 1949. – Т. 1. – 432 с.
25. Флора БССР : в 5 т. / под ред. Н. А. Дорожкина. – Мн. : Изд-во АН БССР, 1949. – Т. 2. – 510 с.

26. Флора БССР : в 5 т. / под ред. Н. А. Дорожкина, М. П. Томина. – Мн. : Изд-во АН БССР, 1950. – Т. 3. – 490 с.
27. Флора БССР : в 5 т. / под ред. Б. К. Шишкина, М. П. Томина. – Мн. : Изд-во АН БССР, 1955. – Т. 4. – 527 с.
28. Флора БССР : в 5 т. / под ред. Б. К. Шишкина, М. П. Томина. – Мн. : Изд-во АН БССР, 1959. – Т. 5. – 267 с.
29. Козловская, Н. В. Хорология флоры Беларуси / Н. В. Козловская, В. И. Парфенов. – Мн. : Наука и техника, 1972. – 312 с.
30. Дубовик, Д. В. Адвентивные виды растений во флоре Беларуси и их инвазионный потенциал / Д. В. Дубовик // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира : мат-лы межд. науч. конф., Минск-Нарочь, 23–26 сентября 2014 г. – Мн., 2014. – С. 184–185.
31. Лебедько, В. Н. Новые виды секции *Ranunculus* рода Лютик (*Ranunculus* L.) во флоре Беларуси / В. Н. Лебедько // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2025. – Вып. 56. – С. 11–34.
32. Джус, М. А. Лук лузитанский (*Allium lusitanicum* Lam., Amaryllidaceae) – новый аборигенный вид для флоры Беларуси / М. А. Джус, Вал. Н. Тихомиров // Журн. Белорус. гос. ун-та. Биология. – 2018. – № 3. – С. 28–37.
33. Джус, М. А. Видовой состав рода *Bolboschoenus* (Asch.) Palla (Cyperaceae) во флоре Беларуси / М. А. Джус // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты : сб. ст. II междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–14 ноября 2013 г. – Мн., 2013. – С. 13–15.

Поступила в редакцию 28.05.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Дубовик Дмитрий Васильевич – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории флоры и систематики растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Савчук Сергей Сергеевич – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией флоры и систематики растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Лебедько Владимир Николаевич – научный сотрудник лаборатории флоры и систематики растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Дубовик, Д. В. Таксономический анализ современного состава аборигенной флоры Беларуси / Д. В. Дубовик, С. С. Савчук, В. Н. Лебедько // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 27–35.

ФИТОЦЕНОЛОГИЯ PHYTOCENOLOGY

УДК 581.524.42

Д. Г. ГРУММО, Р. В. ЦВИРКО, Е. Я. КУЛИКОВА,
Н. М. РОГОВСКИЙ, С. Г. РУСЕЦКИЙ, Н. А. ЗЕЛЕНКЕВИЧ,
Д. Ю. ЖИЛИНСКИЙ, Е. В. МОЙСЕЙЧИК, А. В. ПУЧИЛО

СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА И БОТАНИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСТИТЕЛЬНОСТИ БЕЛАРУСИ

Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: dm.grumo@botany.by

Аннотация. В статье изложены результаты типологического и ботанико-географического анализа современной растительности Беларуси. Приведено описание природных условий и дана характеристика растительности в пределах 3 геоботанических подзон, 7 округов и 25 районов.

Естественная и полуестественная наземная растительность занимает площадь 11,02 млн га или 53,1% территории страны. Общая площадь лесов составляет 9,17 млн га или 44,2%. В целом преобладают хвойные и широколиственно-хвойные леса (28,3% и 19,5% соответственно от площади наземной растительности), высока доля лиственных коренных лесов на болотах (15,8%) и мелколиственных производных (15,3%) лесов. Относительно небольшие площади занимают широколиственные леса (4,2%).

Доля нелесных (открытых) болот на территории Беларуси относительно невелика (377,8 тыс. га – 3,4%), включая олиготрофные (*OXYCOCCO-SPHAGNETEA*, 197,5 тыс. га – 1,8%), мезотрофные (*SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS*, 50,6 тыс. га – 0,3%) и эвтрофные (*SPHAGNO WARNSTORFII-TOMENTURNION NITENTIS*, *CARICION DAVALLIANAE*, *PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA*, 129,7 тыс. га – 1,2%) болота.

Естественные луга Беларуси (классы *MOLINIO-ARRHENATHERETEA*, *PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA*, *NARDETEA STRICTAE*, *FESTUCO-PUCCINELLIETEA*) занимают 633,2 тыс. га (5,8%) и представлены 2 крупными категориями: пойменными (169,2 тыс. га – 1,5%) и внепойменными (464,0 тыс. га – 4,2%).

Масштабная мелиорация 1960–1980 гг. и изменение хозяйственного использования привело к тому, что значительную роль в структуре растительности страны составляют растительные сообщества на деградированных торфяниках (536,2 тыс. га – 4,9%). Кустарники в современной структуре растительности занимают площадь 303,9 тыс. га (или 2,8%) и имеют тенденцию активного распространения. Показано, что единицы геоботанического районирования объективно отражают современные закономерности распространения, состав и структуру наземной растительности.

Ключевые слова: естественная и полуестественная растительность, геоботаническое районирование, геоботаническая структура растительности, ботанико-географические особенности.

D. G. GRUMMO, R. V. TSVIRKO, E. YA. KULIKOVA,
N. M. ROGOVSKY, S. G. RUSETSKI, N. A. ZELIANKEVICH,
D. YU. ZHILINSKY, E. V. MOJSEJCHIK, A. V. PUCHILO

BELARUS VEGETATION MODERN STRUCTURE AND ITS BOTANICAL-GEOGRAPHICAL ANALYSIS

Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: zm.hrumo@gmail.com

Abstract. This article presents the results of the typological and botanical-geographical analysis of modern vegetation in Belarus. It describes the natural conditions and characterizes the vegetation within 3 geobotanical subzones, 7 districts, and 25 regions.

Natural and semi-natural terrestrial vegetation covers 11.02 million hectares, or 53.1% of the country's territory. The total area of forests, including tree-shrub vegetation, is 9.17 million hectares, or 44.2% of the country's territory. Coniferous and broadleaf-coniferous forests predominate (28.3% and 19.5% of the terrestrial vegetation area, respectively), high proportion is deciduous primary forests in mires (15.8%) and small-leaved secondary forests (15.3%). Broadleaf forests (4.2%) occupy relatively small areas.

The share of non-forest mires in Belarus is relatively small (377.8 thousand hectares – 3.4%), including oligotrophic (*OXYCOCCO-SPHAGNETEA*, 197.5 thousand hectares – 1.8%), mesotrophic (*SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS*, 50.6 thousand hectares – 0.3%) and eutrophic (*SPHAGNO WARNSTORFII-TOMENTYPNION NITENTIS*, *CARICION DAVALLIANAE*, *PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA*, 129.7 thousand hectares – 1.2%) mires.

Natural meadows of Belarus (*MOLINIO-ARRHENATHERETEA*, *PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA*, *NARDETEA STRICTAE*, *FESTUCO-PUCCINELLIETEA* classes) occupy 633.2 thousand hectares (5.8%) and are represented by two large categories: floodplain (169.2 thousand hectares – 1.5%) and non-floodplain (464.0 thousand hectares – 4.2%). Large-scale land reclamation of 1960-1980s and changes in economic use resulted in degraded peatland plant communities playing a significant role in the country's vegetation structure (536,200 hectares, or 4.9%). Shrubs in the current vegetation structure occupy an area of 303,900 hectares (or 2.8%) and are rapidly expanding. It has been shown that geobotanical zoning units objectively reflect current patterns of distribution, composition, and structure of terrestrial vegetation.

Key words: natural and semi-natural vegetation, geobotanical zoning, geobotanical structure of vegetation, botanical and geographical features.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Беларуси находится на стыке 2-х крупных ботанико-географических областей: Евразийской таежной (хвойнолесной) и Европейской широколиственнолесной [1], что проявляется в смене с севера на юг дубово-темнохвойных лесов на широколиственные [2]. Зональность растительного покрова Беларуси отражают геоботанические подзоны (рис. 1) – широтно-климатические образования, характеризующиеся определенным составом формаций лесной растительности и свойственными им климатически замещающими типами леса [3, 4]:

I – подзона дубово-темнохвойных лесов, занимающая северную часть Беларуси и ограниченная с юга границей ареала граба (*Carpinus betulus*);

II – подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов, занимающая центральную часть страны между границами ареала граба (*Carpinus betulus*) и ели (*Picea abies*);

III – подзона широколиственно-сосновых лесов, расположенная южнее границы сплошного распространения ели (*Picea abies*).

Зональность естественной растительности Беларуси хорошо согласуется с почвенными, климатическими и орографическими особенностями геоботанических подзон [2].

Подзона дубово-темнохвойных лесов (северная) занимает Белорусское Поозерье и основные высоты центрального водораздела страны: Оршанскую, Минскую, Горецко-Мстиславскую возвышенности, Ошмянские гряды и Оршанско-Могилевскую равнину, а также северную, наиболее приподнятую часть Центрально-Березинской равнины (рис. 2).

Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов (центральная) включает равнинные пространства Предполесья (Лидская, Пружанская, Барановичская, Слуцкая, Пуховичская, Бобруйская, Олавская и Чечерская равнины, а также юг Центрально-Березинской равнины). Подзона охватывает Неманские низины (Средне- и Верхненеманские низины), а также возвышенности и приподнятые равнины Белорусской гряды (Новогрудская и Волковысская возвышенности, Копыльская гряда, Слонимская возвышенная равнина) (см. рис. 2).

Указанные подзоны расположены в пределах Евроазиатской хвойнолесной зоны. К югу от нее расположена Европейская широколиственнолесная зона, в границах Беларуси она представлена подзоной широколиственно-сосновых лесов и приурочена к Белорусскому Полесью с довольно близкими климатическими, почвенно-геоморфологическими условиями [2]. В ее состав входят обширные низины Припятского (Ясельдо-Случская, Среднеприпятская низины) и Гомельского Полесья (Василевичская, Комаринская низины). По периферии подзоны размещаются более возвышенные территории: на западе – Высоковская, Малоритская равнина и равнина Загородье, на юге – Мозырско-Лельчицкая равнина и Хойникско-Брагинская возвышенная равнина (см. рис. 2).

В пределах геоботанических подзон Беларуси выделено 7 округов и 25 районов (см. рис. 1). Округа и районы характеризуются различными орографическими, почвенно-гидрологическими и климатическими условиями и соответственно различной структурой растительности.



Рис. 1. Геоботаническое районирование Беларуси [4]

Fig. 1. Geobotanical zoning of Belarus [4]

На протяжении нескольких десятилетий (1960–1990 гг.) белорусскими учеными детально изучалась растительность республики с созданием серий средне- и мелкомасштабных геоботанических карт [1, 2, 4]. Однако к настоящему времени существующие данные о структуре растительного покрова страны, несомненно, устарели. За прошедший 50-летний период после масштабной инвентаризации фитоценотического разнообразия Беларуси на территории страны реализовался ряд крупномасштабных социально-экономических проектов (мелиорация Полесья, индустри-

альное и аграрное развитие регионов), выделена зона отчуждения после аварии на Чернобыльской атомной электростанции, значительно усилился антропогенный пресс на природную среду.

Учитывая актуальность вопроса инвентаризации растительного покрова, нами выполнен ботанико-географический анализ современной наземной растительности¹ на основе авторской среднемасштабной (М 1:600 000) геоботанической карты Беларуси с определением закономерностей размещения и зональных особенностей в пределах единиц геоботанического районирования.

¹Здесь и далее в тексте понимаем естественную и полустественную (вторичную) растительность.

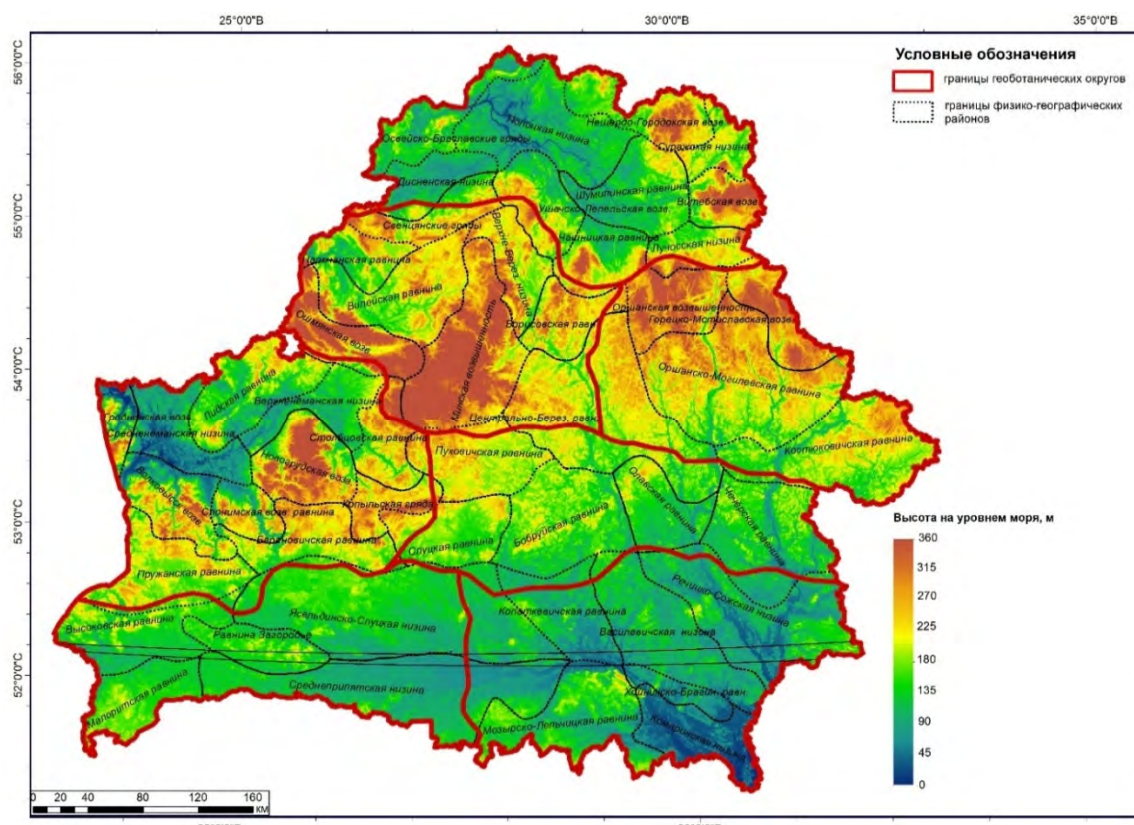


Рис. 2. Соотношение границ геоботанических округов с единицами физико-географического районирования и рельефа Беларуси

Fig. 2. The relationship between the boundaries of geobotanical districts and the units of physical-geographical zoning and relief of Belarus

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среднемасштабная карта растительности составлена на основе генерализации серии карт Беларуси крупного масштаба (М 1:100 000). Последние подготовлены с использованием результатов обработки данных дистанционного зондирования Земли, лесотаксационных, землеустроительных и других материалов. Синтез разнообразной информации позволил получить тематическую карту с высокими и стабильными показателями точности (в среднем, в зависимости от региона исследования, в пределах 82,3–87,6%) [4]. Генерализация по принципу физиономической и экологической (сукцессионной) близости типов растительных сообществ проводилась в соответствии с принятыми принципами [5].

Легенда среднемасштабной карты растительности Беларуси построена с использованием типологического принципа на основе эколого-фитоценологического (доминантного) подхода. На карте показан современный растительный покров, который включает как коренные, так и производные растительные сообщества, находящиеся на разных стадиях восстановления или деградации.

Высшие подразделения легенды соответствуют типам растительности (лесная, луговая, болотная). Самостоятельным разделом представлены вторичная кустарниковая растительность и мелколесья, а также растительность агроэкосистем.

В легенде среднемасштабной карты лесной тип растительности подразделяется на классы формаций: хвойные, широколиственные, мелколиственные производные и лиственные коренные леса на болотах. Картируемые таксоны хвойных (в подавляющем большинстве сосновых) лесов на болотах рассматриваются как градации этих лесов, коренные лиственные леса на болотах выделены в отдельную таксономическую категорию высшего ранга. Это продиктовано стремлением сохранить единство формационной структуры лесной растительности. Лиственные леса на болотах – пушистоберезовые и черноольховые – образуют самостоятельные, сопряженные друг с другом формации, тогда как типы сосняков на болотах составляют часть эколого-фитоценологического ряда сосновых лесов. Подзаголовками сле-

дующего ранга для лесной растительности являются формации (сосновые, еловые, осиновые, черноольховые и т.д.). В качестве основных картографируемых категорий в легенде выступают синтаксоны, соответствующие требованиям отображения растительности при среднемасштабном картографировании [6]. Оценивая ценотическое разнообразие лесов, можно отметить, что на карте отражен 31 (с учетом зональных вариантов) тип лесных растительных сообществ.

Фитоценотическое разнообразие естественной болотной растительности отображено на геоботанической карте 7 единицами. Болотная растительность разделена по типу питания на эвтрофные (низинные), мезотрофные (переходные) и олиготрофные (верховые). Основной картируемой единицей растительности открытых (нелесных) болот на среднемасштабной карте является тип болотного массива, который выделяется по преобладающей растительности и ее распределению в экологическом ряду от центра к окраине. Отдельными таксонами представлена растительность деградированных торфяников.

Картографическое отражение луговой растительности осуществлялось по принципам типологического разнообразия лугов и связи их с ландшафтной структурой территории. Луга разделены на две группы: пойменные (заливные), формирующиеся в речных долинах и периодически испытывающие затопления, и внепойменные

(материковые), развивающиеся на месте сведенных лесов на водоразделах. Основной картируемой единицей является тип луга, который базируется на экологической общности фитоценозов (режиме увлажнения и обеспеченности почв питательными веществами). Естественные луга на геоботанической карте представлены 6 типологическими единицами.

При обсуждении результатов для понимания синтаксономического объема наряду с единицами доминантной классификации приводятся их аналоги с использованием флористической классификации (школа Браун-Бланке). Единицей высшего порядка является класс, далее по мере уменьшения объема единиц следуют порядок, союз, ассоциация. Номенклатура синтаксономических единиц приведена с использованием современной литературы [7]. Латинские названия сосудистых растений даны по С. К. Черепанову [8] с некоторыми изменениями в соответствии с современными таксономическими базами, мохообразных – по М. С. Игнатову с соавторами [9].

Комплексная пространственная и статистическая обработка баз геоданных и анализ полученных результатов осуществляли средствами геоинформационных систем. С использованием стандартного модуля ArcGIS рассчитывали площади типологических единиц как в целом для территории Беларуси, так и в разрезе геоботанического районирования (подзоны, округа, районы).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разнообразие геоморфологических условий, специфика гидрологического режима, различный генезис почв, антропогенное влияние определяют высокий уровень фитоценотического разнообразия Беларуси. В целом наземная растительность занимает 53,1% страны и представляет собой сложное сочетание природных и антропогенно-трансформированных типов растительных сообществ. Площадь лесов составляет 9,17 млн га (83,1%²), лугов – 633,2 тыс. га (5,8%), открытых (нелесных) болот и деградированных торфяников – 914,0 тыс. га (8,3%), мелколесья и кустарники занимают 303,9 тыс. га (2,8%) (рис. 3, табл. 1).

Структура лесного покрова имеет свои закономерные региональные особенности. Хвойные бореальные леса (класс **VACCINIO-PICEETEA**) преобладают во всех подзонах и занимают значительные площади (3,12 млн га или 28,3%³) (см. табл. 1, рис. 3). К ним относятся сосновые, в том числе болотные, елово-сосновые и еловые леса, для которых характерно господство во всех яру-

сах бореальных (таежных) видов растений. В подлеске встречаются *Juniperus communis*, *Fraxinus alnus*, *Sorbus aucuparia*, в напочвенном покрове преобладают кустарнички (*Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*) и зеленые мхи (*Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*). Из травянистых растений высоко постоянство *Calamagrostis arundinacea*, *Convallaria majalis*, *Luzula pilosa*, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum pratense*, *Oxalis acetosella*, *Pteridium aquilinum* s.l., *Rubus saxatilis*, *Trientalis europaea*. В болотных сосняках в нижних ярусах растительных сообществ преобладают *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum* и сфагновые мхи (*Sphagnum angustifolium*, *Sph. divinum*). С лесами данной группы связано распространение таких бореальных видов, как *Carex globularis*, *Chamaedaphne calyculata*, *Chimaphilla umbellata*, *Huperzia selago*, *Goodyera repens*, *Linnaea borealis*, *Lycopodium annotinum*, *Moneses uniflora*, *Orthilia secunda*, *Ptilium crista-castrensis*, *Sphagnum girgensohnii*,

²Здесь и далее от площади наземного растительного покрова.

³Здесь и далее в тексте приводится доля (%) от площади, занятой естественной и полустественной растительностью.

часть из которых находятся вблизи или на южной границе ареала.

Примечательно, что доля бореальных хвойных лесов в самом северном Западно-Двинском геоботаническом округе меньше всего (20,1%) за счет преобладания в этом регионе группы производных мелколиственных лесов (29,1%) – березняков, осинников и сероольшаников (табл. 2). Доля сосняков на песчаных почвах (союз **DICRANO–PINION SYLVESTRIS**) в геоботанической подзоне дубово-темнохвойных лесов существенно ниже, чем в подзонах грабово-дубово-темнохвойных и широколиственно-сосновых лесов (15,0%, 29,2% и 29,4% соответственно) (см. табл. 1).

Закономерно наблюдается уменьшение к югу площади таежных еловых лесов (союз **PICEION EXCELSAE**). Еловые леса довольно широко распространены на севере Беларуси (154,44 тыс. га – 2,1%), а местами на богатых почвах и в центральной ее части (59,88 тыс. га – 2,1%), фрагментарно в Полесье (9,4 тыс. га – 0,3%) (см. табл. 1).

Широколиственно-хвойные и широколиственные леса (класс **CARPINO–FAGETEA SYLVATICAЕ**) на территории Беларуси определяют зональную дифференциацию растительности страны [3], обусловленную, главным образом, распространением таких эдификаторов, как *Picea abies* и *Carpinus betulus*. В мезофитных условиях данные виды являются постоянными компонентами древесного яруса, что оказывает влияние на состав и структуру фитоценозов в зависимости от их географического положения. Исходя из этого, геоботаническая подзона дубово-темнохвойных лесов с юга ограничена ареалом *Car-*

pinus betulus, а подзона широколиственно-сосновых лесов расположена южнее границы сплошного распространения *Picea abies*. Между этими подзонами находится территория со сложным сочетанием хвойных лесов восточноевропейского типа с широколиственными лесами западноевропейского типа. Такое разделение на геоботанические подзоны согласуется с принятыми высшими единицами флористической классификации растительности: сообщества северной части страны рассматриваются в пределах союза **QUERCO ROBORIS–TILION CORDATAE**, а южной – относятся к союзу **CARPINION BETULI**.

Широколиственно-хвойные леса объединяют смешанные по составу древостоя сообщества, часто с многоярусной структурой фитоценозов. Они достаточно широко распространены на территории страны и занимают площадь 2,15 млн га (19,5%) (см. табл. 1). В древесном ярусе таких лесов высоко постоянство *Acer platanoides*, *Quercus robur* и *Tilia cordata*, а в центральной и южной частях страны – и *Carpinus betulus*. В подлеске обычно преобладает *Corylus avellana* с участием *Euonymus verrucosa*, *Lonicera xylosteum*, которая в Полесье почти не встречается. В напочвенном покрове характерно сочетание неморальных видов (*Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Asarum europaeum*, *Carex digitata*, *Galium odoratum*, *Hepatica nobilis*, *Galeobdolon luteum*, *Lathyrus vernus*, *Milium effusum*, *Stellaria holostea*) с бореальными (*Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*).

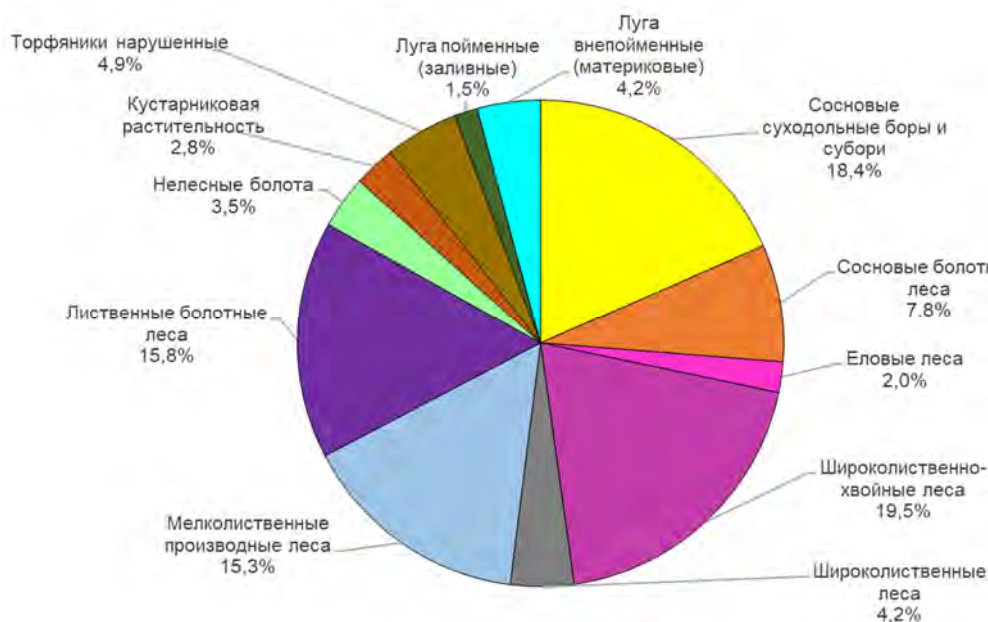


Рис. 3. Современная структура растительности Беларуси, %

Fig. 3. The modern structure of vegetation in Belarus, %

Таблица 1. Современная структура растительности Беларуси по геоботаническим подзонам

Table 1. The modern structure of vegetation in Belarus by geobotanical subzones

Типологические категории	Геоботанические подзоны						Всего	
	I		II		III		тыс. га	%
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%		
I. ХВОЙНЫЕ ЛЕСА	1059,1	22,4	943,5	33,4	1115,9	32,3	3118,5	28,3
Сосновые леса	904,6	19,1	883,7	31,3	1106,5	32,0	2894,8	26,3
1. Сосновые вересково-лишайниковые и вересково-лишайниково-зеленомошные	17,2	0,4	36,3	1,3	89,7	2,6	143,1	1,3
2. Сосновые бруснично-зеленомошные	444,3	9,5	576,9	20,4	—	—	1021,2	9,3
2а. с елью (<i>Picea abies</i>)	444,2	9,4	1,5	0,1	—	—	445,7	4,0
2б. с елью (<i>Picea abies</i>) и дубом (<i>Quercus robur</i>)	0,1	<0,1	575,2	20,4	0,2	<0,1	575,6	5,2
2в. с дубом (<i>Quercus robur</i>)	—	—	0,2	<0,1	522,6	15,1	522,8	4,7
3. Сосновые чернично-зеленомошные	158,6	3,3	165,0	5,8	331,3	9,6	654,9	5,9
4. Сосновые кустарничково-сфагновые на верховых болотах	91,3	1,9	46,8	1,7	73,7	2,1	211,8	1,9
5. Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые на переходных болотах	158,2	3,3	48,8	1,7	58,6	1,7	265,7	2,4
6. Пушистоберезово-сосновые травяно-осоково-сфагновые на переходных и низинных болотах	35,1	0,7	9,9	0,4	30,3	0,9	75,3	0,7
Еловые леса	154,4	3,3	59,9	2,1	9,4	0,3	223,7	2,0
7. Еловые и сосново-еловые чернично-зеленомошные в сочетании с долгомошными	154,4	3,3	59,9	2,1	9,4	0,3	223,7	2,0
II. ШИРОКОЛИСТВЕННО-ХВОЙНЫЕ ЛЕСА	1157,9	24,4	632,9	22,4	361,1	10,4	2151,9	19,5
Широколиственно-сосновые леса	632,3	13,3	476,3	16,9	347,3	10,0	1455,9	13,2
8. Широколиственно-сосновые мелкотравные	632,3	13,3	476,3	16,9	347,3	10,0	1455,9	13,2
8а. с елью (<i>Picea abies</i>)	632,3	13,3	84,5	3,0	—	—	716,8	6,5
8б. с елью (<i>Picea abies</i>) и грабом (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	391,8	13,9	—	—	391,8	3,6
8в. со значительным обилием граба (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	—	—	347,3	10,0	347,3	3,2
Широколиственно-еловые леса	525,6	11,1	156,6	5,5	13,8	0,4	696,0	6,3
9. Широколиственно-еловые снытево-кисличные в сочетании с приручьевыми	525,6	11,1	63,1	2,2	—	—	588,7	5,3
9а. Широколиственно-еловые с грабом (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	93,5	3,3	13,8	0,4	107,3	1,0
III. ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА	108,6	2,3	130,6	4,6	225,0	6,5	464,2	4,2
Дубовые леса	43,0	0,9	67,5	2,4	158,9	4,6	269,4	2,4
10. Дубовые снытево-кисличные в сочетании с чернично-орляковыми	41,3	0,9	61,6	2,2	136,9	4,0	239,8	2,2
10а. елово-дубовые с жимолостью (<i>Lonicera xylosteum</i>) в подлеске	41,3	0,9	12,1	0,4	—	—	53,5	0,5
10б. елово-дубовые с грабом (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	49,5	1,8	—	—	49,5	0,5
10в. дубовые со значительным обилием граба (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	—	—	136,9	4,0	136,9	1,2

Типологические категории	Геоботанические подзоны								Всего	
	I		II		III					
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
11. Дубравы пойменные	1,7	<0,1	5,9	0,2	22,0	0,6	29,6	0,3		
12. Смешанные широколиственные снытево-кисличные леса с преобладанием клена, липы, ольхи черной, ясеня, вяза	65,6	1,4	20,5	0,7	—	—	86,1	0,8		
12a. со значительным обилием граба (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	42,6	1,5	66,1	1,9	108,8	1,0		
IV. ЛИСТВЕННЫЕ КОРЕННЫЕ ЛЕСА НА БОЛОТАХ	699,0	14,8	443,6	15,7	602,2	17,4	1744,9	15,8		
Черноольховые леса	255,3	5,4	260,8	9,2	312,7	9,0	828,8	7,5		
13. Черноольховые крапивно-кочельжниковые в сочетании с таволговыми	154,0	3,3	161,3	5,7	177,4	5,1	492,7	4,5		
14. Пушистоберезово-черноольховые гифрофильно-травяно-осоковые	101,3	2,1	99,5	3,5	135,3	3,9	336,1	3,1		
Пушистоберезовые леса	443,7	9,4	182,9	6,5	289,5	8,4	916,1	8,3		
15. Пушистоберезовые осоково-гифрофильно-травяные	390,8	8,3	155,2	5,5	242,8	7,0	788,8	7,2		
16. Осново-пушистоберезовые осоково-травяно-сфагновые	53,0	1,1	27,7	1,0	46,7	1,4	127,3	1,2		
V. МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЛЕСА	1021,8	21,6	342,9	12,1	325,5	9,4	1690,3	15,3		
Повислоберезовые леса	542,1	11,5	271,9	9,6	286,6	8,3	1100,6	10,0		
17. Повислоберезовые кустарничково-травяно-зеленомошные на месте еловых и елово-сосновых лесов	256,7	5,4	152,9	5,4	—	—	409,6	3,7		
17a. на месте дубово-сосновых лесов	—	—	0,2	<0,1	208,7	6,0	208,9	1,9		
18. Повислоберезовые снытево-кисличные на месте широколиственных и широколиственно-еловых лесов	285,4	6,0	36,4	1,3	—	—	321,8	2,9		
18a. на месте широколиственных лесов со значительным обилием граба (<i>Carpinus betulus</i>)	—	—	82,5	2,9	77,9	2,3	160,4	1,5		
Осиновые леса	333,5	7,0	70,4	2,5	38,9	1,1	442,9	4,0		
19. Осиновые снытево-кисличные в сочетании с вейниково-черничными	333,5	7,0	70,4	2,5	38,9	1,1	442,9	4,0		
Сероольховые леса	146,2	3,1	0,6	<0,1	—	—	146,7	1,3		
20. Сероольховые кислично-снытевые в сочетании с крапивно-папоротниковыми	146,2	3,1	0,6	<0,1	—	—	146,7	1,3		
VI. КУСТАРНИКИ	110,3	2,3	50,5	1,8	143,1	4,1	303,9	2,8		
21. Ивовые заросли в поймах рек	38,8	0,8	15,6	0,6	17,7	0,5	72,1	0,7		
22. Ивняки мезозатрофные на торфяно-болотных почвах	71,6	1,5	34,9	1,2	125,4	3,6	231,8	2,1		
VII. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ НЕЛЕСНЫХ (ОТКРЫТЫХ) БОЛОТ И НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ	269,2	5,7	116,8	4,1	528,1	15,3	914,0	8,3		
Растительность нелесных верховых (олиготрофных) болот	148,1	3,1	3,1	0,1	46,2	1,3	197,5	1,8		
23. Кустарничково-сфагновые со вторичными озерами и сфагновыми мочажинами в центре и на склонах, с периферийным рядом мезотрофных и мезозатрофных ассоциаций	87,7	1,9	—	—	—	—	87,7	0,8		

Типологические категории	Геоботанические подзоны						Всего	
	I		II		III			
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
24 Сосново-кустарничково-сфагновые со сфагновыми мочажинами с периферийным рядом мезотрофных и эвтрофных ассоциаций	60,5	1,3	3,1	0,1	46,2	1,3	109,8	1,0
	3,1	0,1	1,0	<0,1	46,5	1,3	50,6	0,5
25. Осоково-пушицево-травяно-сфагновые мезоэлиотрофные и мезотрофные	3,1	0,1	1,0	<0,1	46,5	1,3	50,6	0,5
Растительность нелесных переходных (мезотрофных) болот	10,3	0,2	15,6	0,6	103,9	3,0	129,7	1,2
26. Осоково-травяные с разреженным сфагновым покровом мезоэвтрофные	1,1	<0,1	—	—	—	—	1,1	<0,1
27. Осоковые и осоково-типиновые мезоэвтрофные	9,2	0,2	1,4	0,1	—	—	10,6	0,1
28. Злаково-осоковые и осоково-типиновые эвтрофные	—	—	9,4	0,3	90,7	2,6	100,0	0,9
29. Влажно-высокотравные эвтрофные	—	—	4,8	0,2	13,2	0,4	18,1	0,2
Растительность нарушенных торфяников	107,7	2,3	97,1	3,4	331,5	9,6	536,2	4,9
30. Нарушенные торфяники верховые	17,2	0,4	2,9	0,1	11,3	0,3	31,4	0,3
31. Нарушенные торфяники переходные и низинные	90,5	1,9	94,1	3,3	320,2	9,3	504,8	4,6
VIII. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ЛУГОВ	310,5	6,5	163,5	5,8	159,2	4,6	633,2	5,8
Растительность пойменных лугов	48,2	1,0	47,1	1,7	73,8	2,1	169,2	1,5
32. Остепненные луга	6,3	0,1	6,3	0,2	12,6	0,4	25,1	0,2
33. Настоящие луга	12,1	0,3	16,1	0,6	28,7	0,8	56,9	0,5
34. Сырые луга	16,1	0,3	8,1	0,3	6,8	0,2	31,0	0,3
35. Болотистые луга	13,8	0,3	16,7	0,6	25,8	0,7	56,2	0,5
Растительность внепойменных лугов	262,2	5,5	116,4	4,1	85,4	2,5	464,0	4,2
36. Суходольные луга	154,3	3,2	38,7	1,4	19,7	0,6	212,6	1,9
37. Низинные луга	108,0	2,3	77,7	2,8	65,7	1,9	251,4	2,3
ВСЕГО	4736,42	100,0	2824,42	100,0	3460,0	100,0	11020,84	100,0

Примечание. Подзоны: I – дубово-темнохвойных лесов. II – грабово-дубово-темнохвойных лесов. III – широколиственно-сосновых лесов.

Примечание. Подзоны: I — дубово-темнохвойных лесов, II — грабово-дубово-темнохвойных лесов, III — широколиственно-сосновых лесов.

Таблица 2. Современная структура растительности Беларуси в разрезе геоботанического районирования

Table 2. The modern structure of vegetation in Belarus by geobotanical zoning

Единицы геоботанического районирования	Площадь		Леса										Лесистость, %	Болота					Луга		
			% от площади растительности											% от площади растительности							
	тыс. га	%	С	СБ	Е	ШЕ	ШС	ШЛ	МП	ЛБ	К	Ито го		ВБ	ПБ	НБ	НТ	Ито го	ПЛ	ВПЛ	Ито го
I. Подзона дубово-темнохвойных лесов	4736,41	54,1	15,0	4,1	3,3	11,1	13,3	2,3	21,6	14,8	2,3	87,8	47,5	3,1	0,1	0,2	2,3	5,7	1,0	5,5	6,5
	1884,67	62,3	11,1	4,7	4,3	8,4	5,6	1,7	29,1	19,4	2,7	87,0	54,3	4,7	0,1	0,1	1,6	6,5	0,3	6,2	6,5
	61,15	69	17,7	2,5	3,7	4,0	6,6	2,0	19,8	28,1	3,8	88,2	60,9	—	—	—	—	1,1	1,1	0,1	10,6
	318,95	48,4	7,6	5,8	4,6	8,7	4,5	2,1	18,9	17,3	2,5	72,0	34,8	14,3	0,3	—	4,0	18,6	0,6	8,8	9,4
	787,37	72,6	15,4	6,2	5,1	8,4	7,5	1,1	26,2	19,7	2,2	91,8	66,7	2,7	—	0,2	0,7	3,6	0,2	4,4	4,6
II. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов	717,21	60,1	7,4	2,9	3,4	8,7	4,0	2,1	37,6	19,2	3,3	88,6	53,3	2,9	—	0,1	1,7	4,7	0,2	6,5	6,7
	1510,58	50,5	20,9	3,9	3,1	12,4	18,4	1,9	14,3	12,2	1,8	88,9	44,9	2,5	0,2	0,5	3,5	6,7	0,5	3,9	4,4
	196,98	73,5	16,2	12,7	4,0	5,4	7,8	0,6	8,8	25,6	1,9	83,0	61,0	8,8	1,1	0,4	5,6	15,9	0,1	1,0	1,1
	915,65	46,2	16,9	2,2	2,9	16,2	21,0	2,4	17,0	10,0	2,1	90,7	41,9	0,3	<0,1	0,2	3,6	4,1	0,6	4,6	5,2
	397,95	53,4	32,4	3,4	3,2	7,0	17,7	1,2	10,8	10,5	1,3	87,5	46,8	4,3	—	1,4	2,3	8,0	0,6	3,9	4,5
III. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов	1341,16	49,1	13,9	3,4	1,9	13,4	18,4	3,6	19,2	11,2	2,3	87,3	42,9	1,8	—	—	1,7	3,5	2,7	6,5	9,2
	297,10	68,8	26,8	9,8	2,1	5,1	15,1	1,2	18,1	10,1	0,7	89,0	61,3	7,8	—	—	1,2	9,0	0,6	1,4	2,0
	203,54	46,7	9,4	0,7	2,3	7,0	11,6	7,8	24,0	22,8	2,5	88,1	41,1	—	—	—	0,4	0,4	0,6	10,9	11,5
	516,89	41	7,3	2,2	1,6	23,7	17,8	3,3	21,0	7,4	3,1	87,4	35,8	—	—	—	1,4	1,4	3,1	8,1	11,2
	323,62	54,1	15,4	0,9	1,9	8,7	26,9	3,8	14,4	10,9	2,5	85,4	46,2	—	—	—	3,6	3,6	5,1	5,9	11,0
IV. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов	2824,40	46,1	29,2	2,1	2,1	5,5	16,9	4,6	12,1	15,8	1,8	90,1	41,5	0,1	—	0,6	3,4	4,1	1,7	4,1	5,8
	1261,22	48,2	29,2	3,3	1,8	4,8	14,1	4,6	14,3	16,2	2,0	90,3	43,5	0,2	—	0,1	3,0	3,3	2,5	3,9	6,4
	441,43	44,4	24,0	6,0	2,9	7,0	11,2	4,1	14,2	20,5	1,5	91,4	40,6	0,3	—	0,3	3,1	3,7	0,8	4,1	4,9
	331,23	56,9	38,8	2,9	1,4	2,8	12,9	5,5	10,4	15,3	1,4	91,4	52,0	<0,1	—	0,1	5,0	5,1	0,9	2,6	3,5
	488,56	46,8	27,4	1,2	1,1	4,1	17,5	4,5	17,0	12,9	2,9	88,6	41,5	0,2	—	—	1,5	1,7	5,1	4,6	9,7
V. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов	1563,18	44,5	29,2	1,1	2,4	6,2	19,1	4,6	10,4	15,2	1,6	89,8	40,0	0,1	0,1	0,9	3,8	4,9	1,0	4,3	5,3
	153,21	83,5	32,1	1,9	1,3	3,1	15,7	5,9	6,3	18,7	1,1	86,1	71,9	—	0,6	3,5	4,4	8,5	0,8	4,6	5,4
	253,72	25,4	12,4	0,1	1,3	12,7	29,5	10,7	15,4	6,2	1,8	90,1	22,9	—	—	—	1,4	1,4	0,7	7,8	8,5

Единицы геоботанического районирования	Площадь		Леса											Лесистость, %	Болота					Луга	
			% от площади растительности												% от площади растительности						
	тыс. га	%	С	СБ	Е	ШЕ	ШС	ШЛ	МП	ЛБ	К	Ито го	ВБ		ПБ	НБ	НТ	Ито го	ПЛ	ВПЛ	Ито го
Западно-Предполесский район	439,79	57,8	28,8	1,5	1,7	3,7	16,8	2,9	9,5	19,0	1,8	85,7	49,5	0,2	—	1,4	9,0	10,6	0,4	3,4	3,8
	160,26	60,5	30,6	1,2	5,2	7,4	6,4	2,6	11,6	26,8	1,3	93,1	56,3	—	—	1,5	1,1	2,6	1,5	2,8	4,3
	556,19	42,6	36,0	0,9	2,8	5,7	20,8	3,5	9,6	12,3	1,6	93,2	39,7	—	—	—	1,4	1,4	1,6	3,8	5,4
III. Подзона широколиственно-сосновых лесов	3460,00	58,5	29,4	2,6	0,3	0,4	10,0	6,5	9,4	17,4	4,1	80,1	46,9	1,3	1,4	3,0	9,6	15,3	2,1	2,5	4,6
Бугско-Полесский округ	1399,34	53	26,5	2,4	0,4	0,5	6,5	4,5	7,6	21,8	4,2	74,4	39,5	1,6	3,3	4,5	11,8	21,2	1,3	3,1	4,4
Бугско-Припятский район	461,81	38,8	37,3	0,3	0,3	0,5	11,1	5,2	11,4	19,5	1,7	87,3	33,9	—	—	3,1	5,0	8,1	0,5	4,1	4,6
Пинско-Припятский район	937,54	64,8	21,2	3,4	0,5	0,6	4,3	4,2	5,8	23,0	5,4	68,4	44,2	2,3	5,0	5,1	15,2	27,6	1,7	2,5	4,2
Полесско-Приднепровский округ	2060,66	63,0	31,4	2,7	0,2	0,3	12,4	7,8	10,6	14,4	4,1	83,9	52,9	1,2	—	2,0	8,1	11,3	2,7	2,1	4,8
Гомельско-Приднепровский район	616,78	46,1	17,7	0,2	0,1	0,2	20,3	11,4	14,6	15,6	3,8	83,9	38,7	—	—	—	8,5	8,5	3,9	3,7	7,6
Припятско-Мозырский район	505,63	75,3	31,6	7,5	0,1	0,1	8,4	8,7	8,0	11,9	5,0	81,3	61,2	4,5	—	5,0	3,6	13,1	4,5	1,1	5,6
Центрально-Полесский район	539,77	71,0	43,1	1,8	0,4	0,7	10,3	5,4	9,7	15,7	1,3	88,4	62,8	—	—	1,4	8,5	9,9	0,1	1,6	1,7
Южно-Полесский район	398,47	79,3	36,5	1,7	—	0,2	8,1	4,7	9,0	14,0	7,3	81,5	64,6	0,5	—	2,2	12,3	15,0	2,1	1,4	3,5
Общий итог	11020,81	53,0	23,2	3,1	2,0	6,3	13,2	4,2	15,3	15,8	2,8	85,9	45,6	1,8	0,5	1,2	4,9	8,4	1,5	4,2	5,7

Примечание. ВБ – верховые болота, ВПЛ – внепойменные луга, Е – еловые леса, К – кустарники, ЛБ – листовые болотные леса, МП – мелколиственные производные леса, НБ – низинные болота, НТ – нарушенные торфяники, ПЛ – пойменные (заливные) луга, С – сосновые суходольные леса, СБ – сосновые болотные леса, ШЕ – сосновые болотные леса, ШС – широколиственно-сосновые леса, ШЛ – широколиственные леса, ШС – широколиственно-сосновые леса, ПБ – переходные болота.

Распределение площади широколиственно-хвойных лесов по геоботаническим подзонам следующее: 1 157,9 тыс. га – 24,4% (северная подзона), 632,9 тыс. га – 22,4% (центральная) и 361,1 тыс. га – 10,4% (южная) (см. табл. 1). Наибольшие площади таких лесов характерны для Оршанско-Могилевского (31,8%), Ошмянско-Минского (30,8%), Неманско-Предполесского (25,3%) и Березинско-Предполесского (18,9%) геоботанических округов (см. табл. 2). Доля широколиственно-еловых лесов больше всего на территории Оршанско-Могилевского и Ошмянско-Минского геоботанических округов – 13,4% и 12,4% соответственно; широколиственно-сосновых – на территории Неманско-Предполесского округа (19,1%).

Широколиственные леса занимают площадь 464,2 тыс. га или 4,2%, их доля по геоботаническим подзонам с севера на юг – 2,3%, 4,6% и 6,5% соответственно. Основными ценозообразователями являются *Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Ulmus glabra*, *Fraxinus excelsior*, в центральной и южной частях страны – и *Carpinus betulus*. Независимо от доминанта древесного яруса сообщества по своему составу и структуре очень схожи, часто образуют именно смешанные леса. В северной части Беларуси в древесном ярусе дубрав почти всегда встречается *Picea abies*. Постепенно на юг она замещается *Carpinus betulus*, который обычно образует плотный второй древесный ярус. Более половины из широколиственных лесов составляют дубравы (269,4 тыс. га – 2,4%), наибольшая площадь которых сосредоточена в Полесье (см. табл. 1).

Пойменные дубравы (29,6 тыс. га – 0,3%), имеющие большую природоохранную ценность, – сложные по структуре сообщества, формирование которых зависит от гидрологического режима рек. В древесном ярусе встречаются *Pinus sylvestris* (на повышенных частях поймы), *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus glabra*, *Populus tremula*. Подлесок обычно густой, образован *Padus avium*, *Frangula alnus*, *Euonymus europaeus*, *Rubus caesius*. Структура травяного покрова мозаичная, для него характерно сочетание лугово-опушечных, лесных, болотных и прибрежно-водных видов растений. Формируются такие леса в долинах рр. Днепр, Неман, Припять, а также их притоков.

Довольно значительные площади в Беларуси (1,69 млн га или 15,3%) заняты мелколиственными производными лесами с преобладанием *Betula pendula*, *Populus tremula* и *Alnus incana* на месте погибших или вырубленных хвойных и широколиственных лесов. Наибольшие площади они занимают на северо-востоке страны (37,6% – в

границах Суражско-Луческого геоботанического района) (см. табл. 1, 2).

В поймах крупных рек Беларуси – Березина, Днепр, Припять, Сож – встречаются ивняки с преобладанием *Salix alba* и *S. fragilis* aust. Такие леса обычно формируются в замкнутых понижениях прирусловой части поймы на хорошо проточных участках в условиях краткочасового режима на иловатых и дерново-глеевых почвах. Общая площадь пойменных ивняков составляет 72,1 тыс. га (0,7%). Кустарниками заняты значительная часть земель, выведенных из хозяйственного оборота, а также нелесные низинные и переходные болота (231,8 тыс. га – 2,1%) (см. табл. 1).

Растительность болот занимает довольно значительные площади в фитоценотической структуре Беларуси – 2,68 млн га (24,3%). Наиболее заболочены территории Дисненского (39,3%), Полоцкого (35,3%), Березинско-Друтского (35,7%), Верхне-Березинского (31,8%), Пинско-Припятского (21,6%), Припятско-Мозырского (25,0%) геоботанических районов (рис. 4).

Торфяные болота разделяются на 2 крупных блока: лесные (2,30 млн га – 20,8%) и открытые (377,8 тыс. га – 3,4%). Среди лесных болот основной фон образуют лиственные болотные леса на торфяных почвах (класс **ALNETEA GLUTINOSAЕ**) с преобладанием *Alnus glutinosa* и *Betula pubescens* (1,74 млн га или 15,8%). В границах Дисненского, Полоцкого, Березинско-Друтского, Центрально-Березинского, Центрально-Предполесского, значительные площади занимают сосновые леса на олиго- (асс. **Vaccinio uliginosi–Pinetum sylvestris**, **Sphagno–Pinetum sylvestris**) и мезотрофных (асс. **Thelypterido palustris–Pinetum sylvestris**) болотах (см. табл. 1, рис. 5).

Доля нелесных (открытых) болот на территории Беларуси относительно невелика (377,8 тыс. га – 3,4%), в т.ч. представлены (см. табл. 1, рис. 5) – олиготрофные (класс **OXYCOCCO-SPHAGNETEA**, 197,5 тыс. га – 1,8%), мезотрофные (союз **SPHAGNO–CARICION CANESCENTIS**, 50,6 тыс. га – 0,5%) и эвтрофные (союзы **SPHAGNO WARNSTORFII–TOMETYPNION NITENTIS**, **CARICION DAVALLIANAE**, класс **PHRAGMITO–MAGNOCARICETEA**, 129,7 тыс. га – 1,2%) болота.

В пространственном аспекте типологическая структура болот существенно изменяется (см. рис. 5): в подзоне дубово-темнохвойных лесов преобладают олиготрофные нелесные сфагновые болота; в центральной части (подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов) основной фон образуют лесные (хвойные и лиственные) болота; в Полесье (подзона широколиственно-сосновых лесов) – травяные, кустарниковые, а также черноольховые и пушистоберезовые леса на эвтрофных болотах.

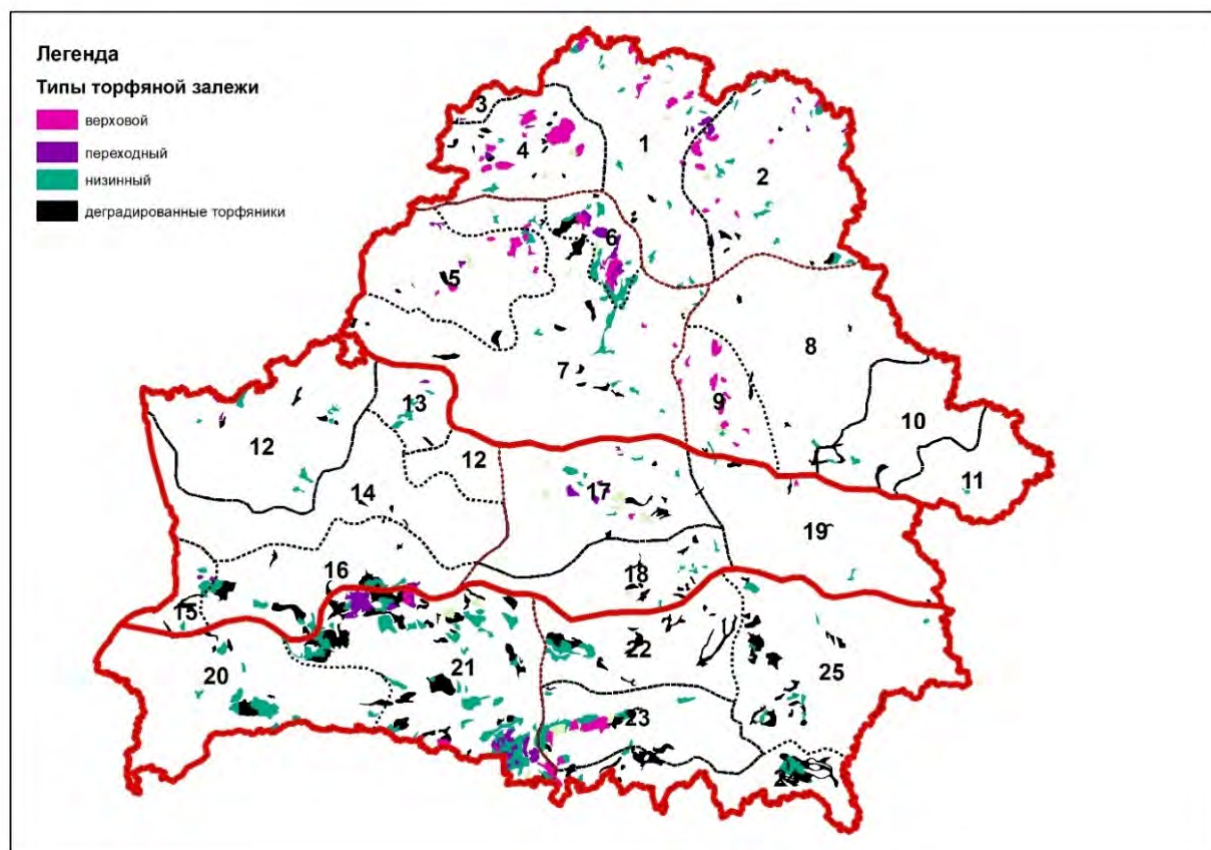


Рис. 4. Распространение естественных болот и нарушенных торфяников в разрезе геоботанических районов Беларуси

Fig. 4. Distribution of natural mires and disturbed peatlands in the context of geobotanical regions of Belarus

Масштабная мелиорация 1960–1980 гг. и изменение хозяйственного использования привело к тому, что значительную часть в структуре растительности страны занимают деградированные растительные сообщества торфяников (536,2 тыс. га – 4,9%). Наиболее высокая доля таких фитоценозов находится на территории Западно-Предполесского (9,0%), Пинско-Припятского (15,2%), Южно-Полесского (12,3%), Центрально-Полесского (8,5%) геоботанических районов (см. рис. 4).

Естественные луга Беларуси (без учета культурных) занимают 633,2 тыс. га (5,8%) (см. табл. 1, рис. 3). По своему генезису и условиям формирования травостоев луга (классы *MOLINIO-ARRHENATHERETEA*, *PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA*, *NARDETEA STRICTAE*, *FESTUCO-PUCCINELIETEA*) разделяются на 2 категории: пойменные (заливные) и внепойменные (материковые). Выделенные в пределах этих категорий типы лугов отражают особенности флористического состава, экологические условия формирования и развития луговой растительности, определяют их характер использования.

На долю пойменных лугов приходится 26,7% (169,2 тыс. га) общей площади естественных луговых угодий Беларуси (см. табл. 1, рис. 3). Наибольшие площади (73,8 тыс. га – 43,6%) пойменных луговых экосистем страны сконцентрированы в геоботанической подзоне широколиственно-сосновых лесов вдоль крупных рек (Днепра, Припяти, Сожа и их притоков). Доля пойменных лугов в подзонах дубово-темнохвойных и грабово-дубово-темнохвойных лесов примерно одинаковая и составляет по ~28%. В силу неоднородности рельефа речных пойм в них выделяются луга с неодинаковой обеспеченностью влагой и питательными веществами: луга высокого уровня (с низким увлажнением и сравнительно бедными почвами), среднего уровня (с нормальным увлажнением и достаточным обеспечением питательными веществами) и луга низкого уровня (с обильным увлажнением, но с богатыми почвами) [10].

Остепненные пойменные луга (союз *AGROSTION VINEALIS*) составляют 14,8% площади пойменных лугов Беларуси, формируются на высо-

ких уровнях поймы, где в силу повышенной дренированности и легкого гранулометрического состава почвы быстро просыхают и прогреваются интенсивнее, чем на более низких уровнях. Остепненные луга занимают вершины грив и верхние части склонов с сухими связнопесчаными почвами. Половина пойменных остепненных лугов страны (12,6 тыс. га) сконцентрирована в южной геоботанической подзоне, на их долю в северной и центральной подзонах приходится по 25,0%.

Наибольшие площади ксеромезофитных разнотравно-злаковых лугов (асс. *Koelerio-Agrostietum vinealis*, *Agrostio vinealis-Calamagrostietum epigeji*, *Poetum angustifoliae*, *Carici praecocis-Allopecuretum pratensis*), имеющие большое значение для сохранения биоразнообразия, располагаются в поймах рек Березины, Днепра, Друти, Немана, Припяти, Прони и Сожа. На вершинах песчаных грив, практически не подверженных весенним разливам, на сухих рыхлопесчаных малоплодородных почвах формируются псаммофитные сообщества класса **KOELERIO-CORYNEPHORETEA CANESCENTIS** (асс. *Corniculario aculea-*

tae-Corynephorum canescentis, *Achilleo nobilis-Festucetum trachyphyllae*, *Polytricho piliferi-Koelerietum glaucae*, *Diantho borbasii-Festucetum polesicae*, *Festucetum polesicae* и др.).

Настоящие пойменные луга (пор. **ARRHENATHERETALIA ELATIORIS**) занимают площадь 56,9 тыс. га (33,6% площади пойменных лугов страны), представлены разнотравно-злаковыми мезофитными сообществами преимущественно сенокосного (союз **ARRHENATHERION ELATIORIS**) и пастбищного (союз **CYNOSURION CRISTATI**) использования. По водному режиму они схожи с суходольными лугами, но периодический паводок обеспечивает им дополнительное питание. Наибольшие площади таких лугов (асс. *Festucetum pratensis*, *Poetum pratensis*, *Trifolium-Festucetum rubrae*, *Deschampsio-Festucetum rubrae*, *Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis*) распространены в поймах рек Березины, Горыни, Днепра, Друти, Немана, Припяти, Сожа и др., формируясь на аллювиальных дерновых временно избыточно увлажняемых разного гранулометрического состава, реже на аллювиальных дерново-глееватых песчаных и супесчаных почвах.

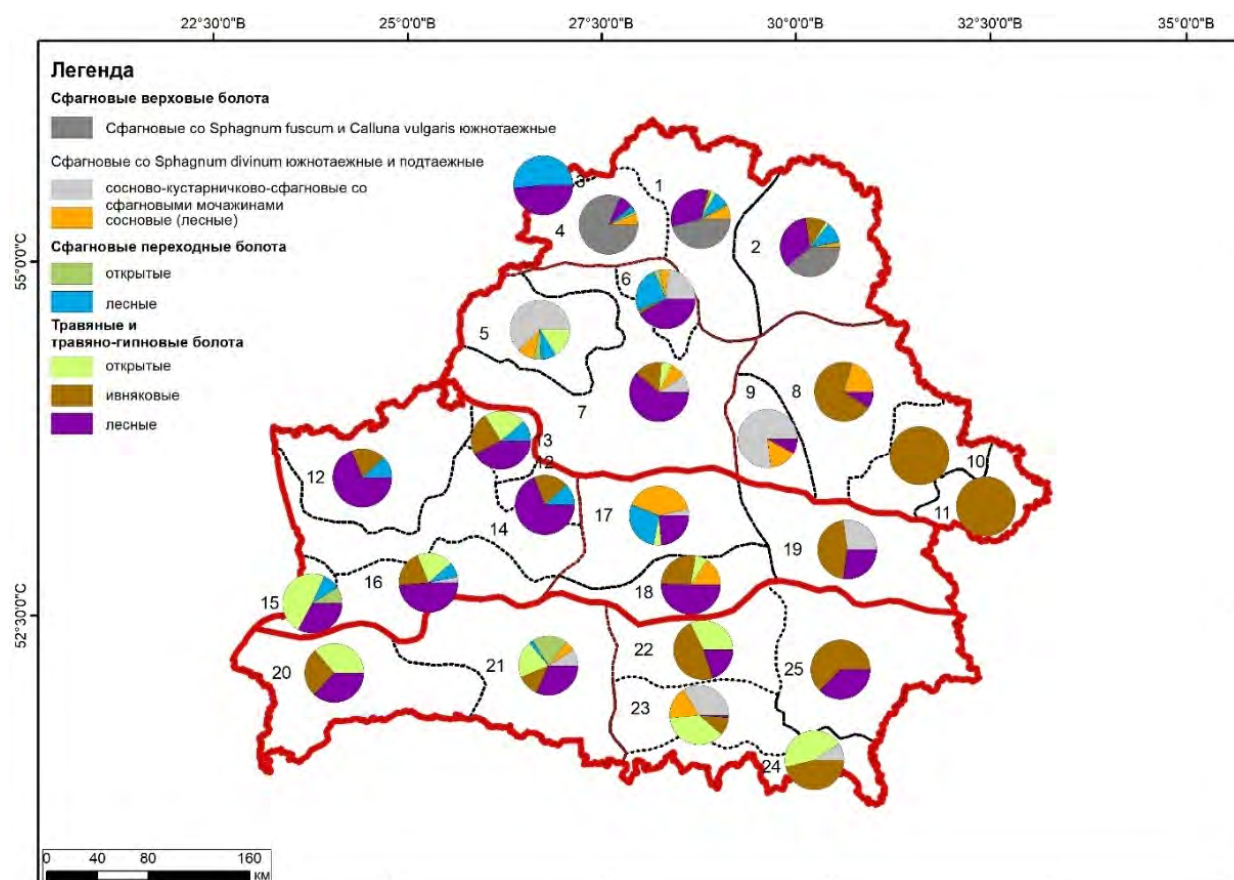


Рис. 5. Типологическая структура болот в разрезе геоботанических районов Беларуси (№ геоботанических районов см. на рис. 1)

Fig. 5. Typological structure of mires across geobotanical regions of Belarus (see Fig. 1 for geobotanical region numbers)

Доля сырых пойменных лугов (союз **DESCHAMPSION CESPITOSAE**, пор. **FILIPENDULO ULMARIAE–LOTETALIA ULIGINOSI** и **POTENTILLO–POLYGONETALIA AVICULARIS**) составляет 18,3% (31,0 тыс. га) пойменных луговых экосистем Беларуси. Наибольшие площади таких лугов сохранились в пойме р. Днепр (13,1 тыс. га), которые занимают средние уровни поймы и представлены разнотравно-злаковыми гидромезофитными сообществами асс. *Poo palustris–Alopecuretum pratensis*, *Galio physocarpī–Alopecuretum pratensis*, *Agropyro–Alopecuretum pratensis*, формирующимися на аллювиальных дерново-глееватых, иногда аллювиальных торфянисто-глеевых почвах. В травостоях преобладают злаки хорошего кормового достоинства, способные при благоприятном водном и пищевом режиме давать высокие урожаи.

Болотистые пойменные луга (пор. **MAGNOCARICETALIA**, **MOLINIETALIA CAERULEAE**) занимают 56,2 тыс. га (33,2%) и представлены мезогигрофитными злаковыми, осоковыми и крупнотравными сообществами, которые формируются на аллювиальных дерново-(перегноино)-глеевых и аллювиальных торфянисто-(торфяно)-глеевых почвах. Наибольшие площади таких лугов (широко распространенные асс. – *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*, *Caricetum acutiformis*, *Scirpetum sylvatici*) сконцентрированы в южной геоботанической подзоне (25,8 тыс. га), в поймах рек Днепр, Припять и Сож.

Внепойменные луга, на долю которых приходится 73,3% (464 тыс. га) общей площади луговых экосистем Беларуси, представлены суходольными, расположенными на повышенных элементах рельефа водоразделов и надпойменных террас, питающимися атмосферными осадками (пор. **GALIETALIA VERI**, **ARRHENATHERETALIA ELATIORIS**), и низинными, формирующимися в глубоких понижениях водоразделов и надпойменных террас, обильно увлажняемые

почвенно-грунтовыми водами, а также водами поверхностного стока и атмосферными осадками (пор. **MAGNOCARICETALIA**, **MOLINIETALIA CAERULEAE**, **FILIPENDULO ULMARIAE–LOTETALIA ULIGINOSI**). Луга внепойменные почти в равных долях представлены суходольными (45,8%) и низинными (54,2%), не занимают больших массивов и вкраплены среди других типов растительности. Более половины (56,5%) внепойменных лугов страны находятся в подзоне дубово-темнохвойных лесов, здесь располагается наибольшая доля (72,5%) суходольных лугов, которые развиваются в основном на сравнительно богатых суглинистых почвах. В настоящее время наибольшие площади (108 тыс. га – 42,9%) низинных лугов также сосредоточены в северной подзоне, при этом в конце 1960-х гг. отмечалось [5], что в южной части страны их доля составляла 73% от всего лугового фонда. Уменьшение площадей низинных лугов в подзоне широколиственно-сосновых лесов связано с масштабно проводимой гидротехнической осушительной мелиорацией. Если рассматривать соотношение низинных и суходольных лугов в пределах геоботанических подзон, то в южной и центральной подзонах больше низинных лугов (в 3 и 2 раза соответственно), чем суходольных, а в северной – в 1,4 раза больше суходольных лугов.

В современной структуре растительности страны кустарники занимают площадь 303,9 тыс. га (или 2,8%) и имеют тенденцию активного распространения. Наиболее распространена кустарниковая растительность (классы **FRANGULETEA**, **SALICETEA PURPUREAE**), на территории Южно-Полесского (7,3%), Пинско-Припятского (5,4%), Припятско-Мозырского (5,0%), Браславского (3,8%), Суражско-Луческого (3,3%) геоботанических районов ((см. табл. 1, рис. 3).

Далее приведена краткая характеристика в разрезе единиц геоботанического районирования (округа, районы).

I. Подзона дубово-темнохвойных лесов (северная)

Лесистость подзоны составляет 47,5%⁴ (рис. 6, см. табл. 2). В регионе преобладают хвойные и широколиственно-хвойные леса (рис. 7, см. табл. 1, 2). Хвойные бореальные леса занимают значительные площади (1,06 млн га или 22,4%). К ним относятся сосновые (19,1%) (в том числе болотные – 4,0% и елово-сосновые – 9,4%) и еловые леса (3,3%), для которых характерно господство во всех ярусах бореальных (таежных) видов растений (рис. 8А, см. табл. 1, 2).

Широколиственно-хвойные леса представляют группу сложных лесов с многоярусной структурой. Распространены они на площади 1,16 млн га (24,4%). В древесном ярусе таких лесов высоко постоянство *Acer platanoides* и *Tilia cordata*, в подлеске часто преобладает *Corylus avellana*, с участием *Euonymus verrucosa*, *Lonicera xylosteum*. В напочвенном покрове характерно сочетание неморальных видов (*Aegopodium podagraria*, *Asarum europaeum*, *Carex digitata*,

⁴Здесь и далее в тексте приводятся значения лесистости, рассчитанные с учетом площадей древесно-кустарниковой растительности.

C. sylvatica, *Gali-um odoratum*, *Galeobdolon luteum*, *Lathyrus vernus*, *Milium effusum*, *Stellaria holostea*) с бореальными (*Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*).

Широколиственные леса занимают площадь 108,6 тыс. га или 2,3%, основными ценозообразователями являются *Quercus robur*, *Tilia cordata* и *Acer platanoides*. Около половины из них занимают дубравы (41,3 тыс. га – 0,9%).

Существенное сокращение сельскохозяйственной деятельности регионе в 1990-х гг. привело к довольно значительному развитию мелколиственных производных лесов (1,02 млн га или 21,6%) и кустарников (110,32 тыс. га – 2,3%) (см. рис. 8А, табл. 1, 2).

Значительную долю в составе лесной растительности (699,0 тыс. га или 14,8%) занимают листовенные болотные леса (класс **ALNETEA GLUTINOSAE**) с преобладанием *Alnus glutinosa* и *Betula pubescens*, которые приурочены к водотокам, окраинам открытых болот, локальным понижениям, и нередко образуют крупные массивы с чередованием гигрофитных олиго-мезотрофных сообществ (см. рис. 8А, табл. 1, 2).

Доля нелесных (открытых) болот границах северной геоботанической подзоны относительно небольшая (161,5 тыс. га – 3,4%), здесь представлены олиготрофные (класс **OXYCOCCO-SPHAGNETEA**, 148,1 тыс. га – 3,1%), мезотрофные (союз **SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS**, 3,1 тыс. га – 0,1%) и эвтрофные (союзы **SPHAGNO WARNSTORFII-TOMENTYPNION NITENTIS**, **CARICION DAVALLIANAE**, класс **PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA**, 10,3 тыс. га – 0,2%) болота (см. рис. 2, 8А, табл. 1, 2).

Луговая растительность занимает 310,5 тыс. га (6,5%) и представлена пойменными и внепойменными лугами (см. рис. 8А, табл. 1, 2). С учетом сложного рельефа и мелкоконтурности угодий, луга северной подзоны в меньшей степени подверглись хозяйственным преобразованиям, в том числе и осушительной мелиорации, чем территория центральной и южной подзон. Важные для сохранения биоразнообразия пойменные луга сохранились (48,2 тыс. га – 1,0%) небольшими массивами в поймах крупных рек региона (Бережина, Днепр, Друть, Остер, Проня, Сож). Внепойменные луга (262,2 тыс. га – 5,5%) не занимают больших массивов и вкраплены среди других типов растительности.

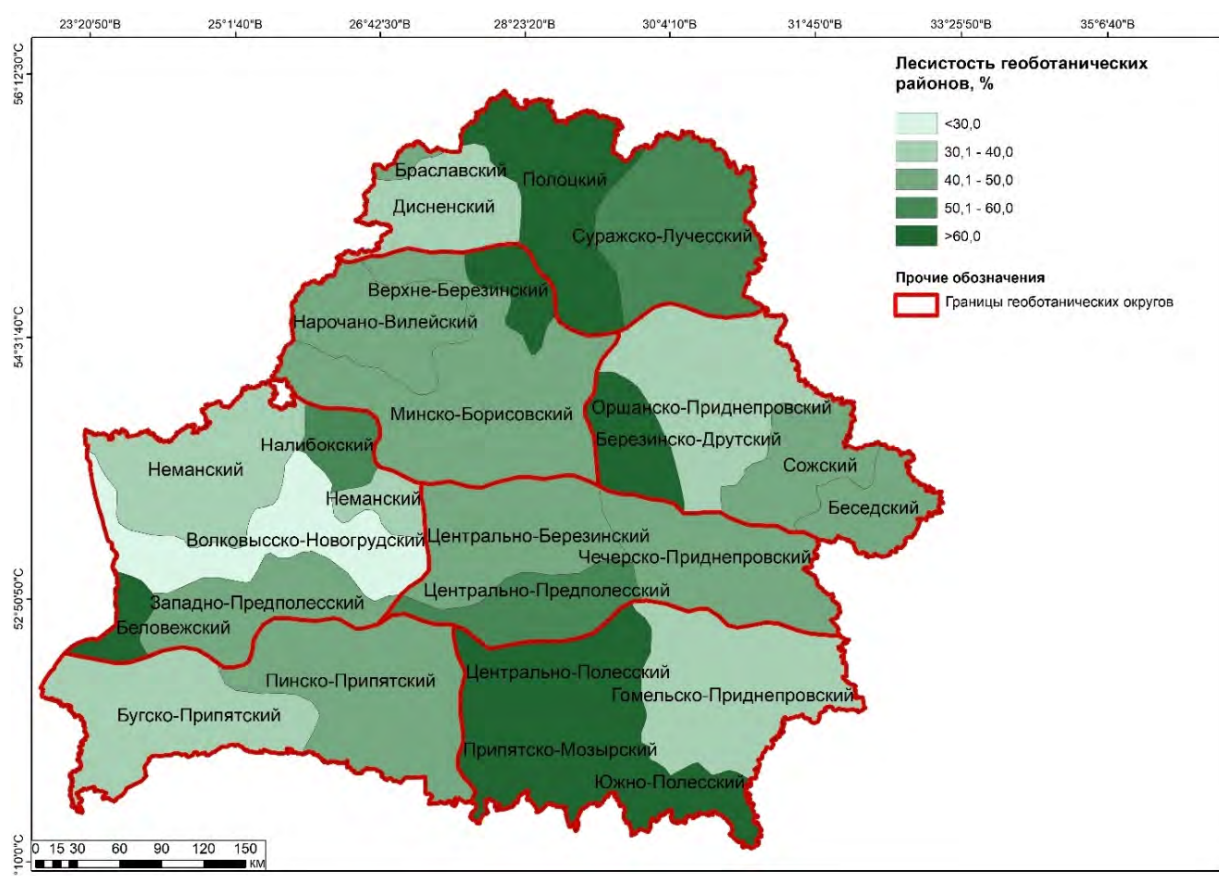


Рис. 6. Лесистость по геоботаническим районам Беларуси

Fig. 6. Forest cover by geobotanical regions of Belarus

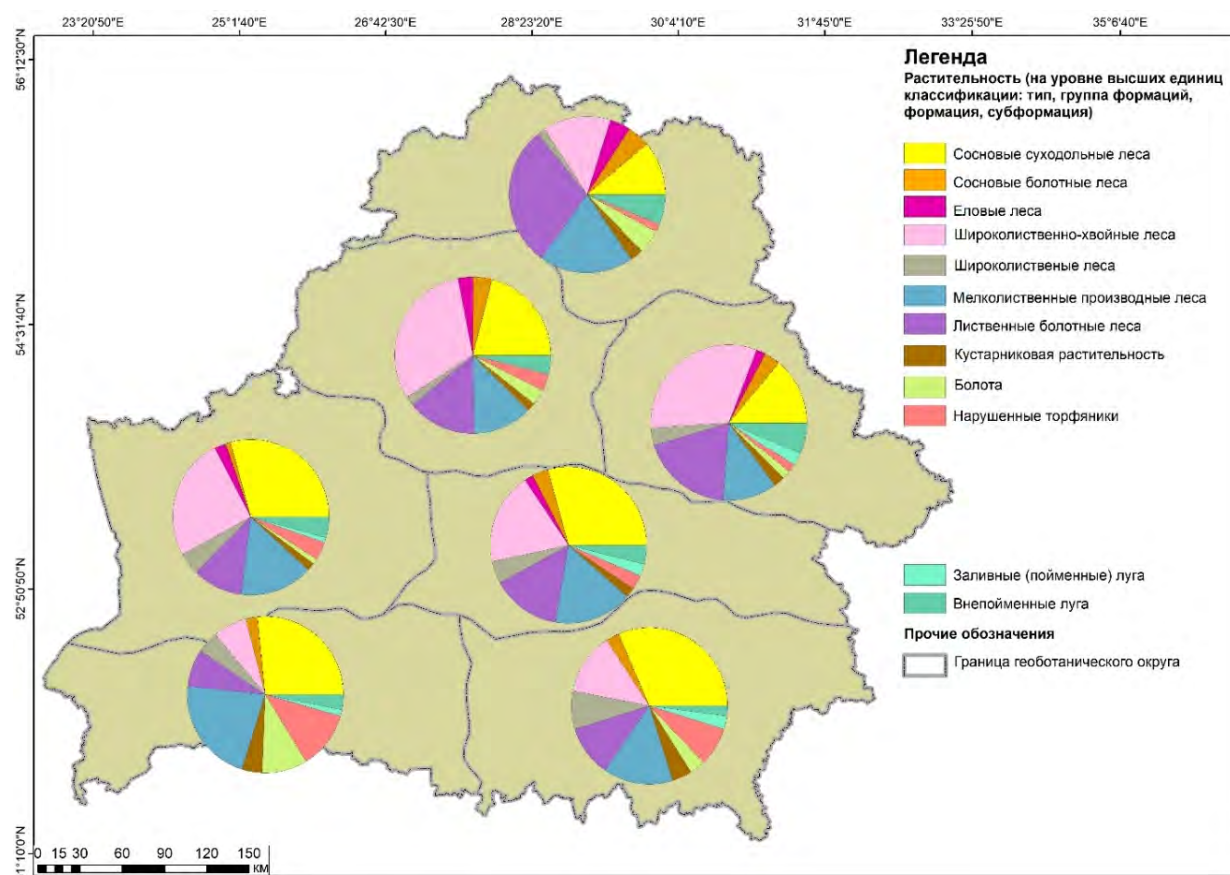


Рис. 7. Структура растительности по геоботаническим округам Беларуси

Fig. 7. Vegetation structure by geobotanical districts of Belarus

Западно-Двинский геоботанический округ

Территориально охватывает бассейн р. Западной Двины. Для данной территории характерна густая гидрографическая сеть, врезанные русла рек и ручьев, пересеченный рельеф, разнообразие озер, имеющих как холмистые, так и низкие заболоченные берега.

Рельеф сложный: моренные холмы и гряды различной выраженности граничат с водно-ледниковыми и озерно-ледниковыми равнинами. Большую часть территории занимают обширная Полоцкая и морфологически связанная с ней Дисненская низины (130–150 м). Их периферийные части приподняты (до 160–190 м) и переходят в возвышенности, которые являются орографическими рубежами Западно-Двинского геоботанического округа. На северо-востоке размещается Нещердо-Городокская, на востоке – Витебская возвышенности, на юге – Чашницкая равнина и Ушачско-Лепельская возвышенность, на западе – Освейско-Браславские гряды. Приподнятое продолжение Полоцкой низины между Нещердо-Городокской и Витебской возвышенностями образует Суражскую низину, к югу от Витебской возвышенности лежит низина р. Лучеса [2].

В структуре почвенного покрова значительные площади занимают дерново-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на моренных глинах и суглинках (Освейская и Браславские гряды, Нещердо-Городокская возвышенность, Чашницкая равнина). В пределах Витебской возвышенности в основном дерново-подзолистые пылевато-суглинистые почвы, формирующиеся на лёссовидных суглинках. Вдоль р. Лучесы, в долине р. Дисна характерны дерново-подзолистые, часто глееватые тяжелосуглинистые почвы, развивающиеся на озерно-ледниковых глинах и суглинках [2]. В Суражской и центральной части Полоцкой низменности, вдоль левобережья р. Березина и в долине р. Эсса развиты более легкие почвы: легкие суглинки и супеси, развивающиеся на отложениях различного механического состава и генезиса.

Сильно дифференцированный почвенный покров в сочетании с особенностями рельефа и гидрографии в значительной мере обуславливают разнообразие и мозаичность фитоценотического облика региона (см. рис. 4, табл. 2). Площадь лесов в округе составляет 1,64 млн га, лесистость – 54,3%.

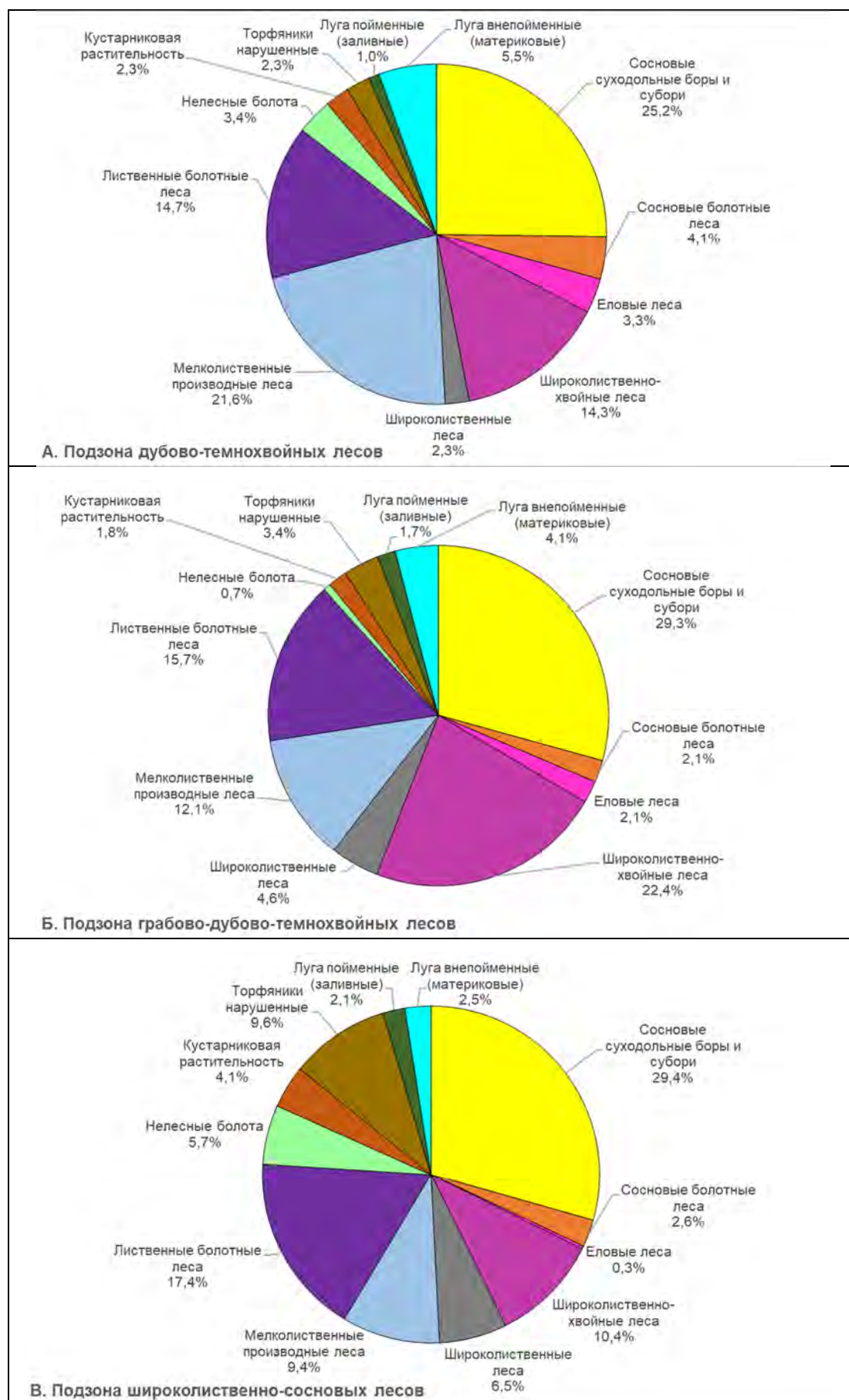


Рис. 8. Структура растительности по геоботаническим подзонам Беларуси

Fig. 8. Vegetation structure by geobotanical subzones of Belarus

Сложный рельеф, густая гидрографическая сеть и сильно дифференцированный почвенный покров в значительной мере обуславливают разнообразие и мозаичность фитоценотического облика региона. Преобладают мелколиственные производные (29,1%), листовенные болотные (19,4%), широколиственно-хвойные (14,0%), сосновые суходольные (11,1%) леса. Участие других типов лесных сообществ относительно невысокое: ельники (4,3%), широколиственные леса (1,7%) (см. рис. 4, 7, табл. 2).

Для Западно-Двинского геоботанического округа характерны наиболее сохранившиеся нелесные болота (4,9%) преимущественно верхового типа (класс **OXYCOCCO-SPHAGNETEA**), в растительности которых наряду с бореальными элементами – *Chamaedaphne calyculata*, *Sphagnum majus*, *Sph. fuscum* – сильны позиции некоторых субатлантических и западноевропейских видов – *Calluna vulgaris*, *Sph. cuspidatum*, *Sph. rubellum*.

Питание болот происходит в основном за счет атмосферных осадков, поэтому торфяная залежь уже в начальной стадии развития имеет явно выраженный олиготрофный характер. Для таких болот характерна выраженная выпуклость рельефа: превышение центральной части массива над окраинами может достигать 7–8 м. Часто почти на всю глубину (до 6–8 м) залежь сложена верховыми торфами, подстилаемыми озерными глинами. В строении залежи, в основном, участвует комплексно-верховой и фукусум-торф.

Для болотных массивов характерны мелкокомочные сосново-пушицево-сфагновые комплексы с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* f. *litwinowii*, f. *willkommii*) на вершине, грядово-мочажинные комплексы (ГМК) на пологих участках склонов, грядово-озерковые комплексы на склоне либо на вершине, сосново-кустарничково-сфагновые сообщества (облесенное кольцо) на крутых участках склонов и, наконец, лагг. На грядах ГМК наиболее распространенными являются кустарничково-сфагновые сообщества с доминированием *Sph. fuscum* нередко с разреженным пологом *Pinus sylvestris* f. *litwinowii*, f. *willkommii*. Довольно часто встречаются сообщества, в которых одновременно доминируют *Calluna vulgaris* и *Chamaedaphne calyculata*. В нижних частях склонов встречаются ГМК, где на повышении господствует *Sph. divinum*.

Значительные площади (4,7%) в пределах геоботанического округа занимают лесные верховые болота с поясным распределением растительности (см. рис. 7, табл. 2). Торфяная залежь имеет кроме верховых, низинные и переходные стратиграфические участки. Верховые участки на начальной стадии формируются за счет накоп-

ления переходных видов торфа, мощностью до 1,5 м. Выше залегают пушицевые, шейхцериевые верховые торфа, которые в свою очередь перекрываются по всему стратиграфическому профилю значительным слоем магелланикум-торфа мощностью до 2,5 м.

Растительный покров лесных верховых болот часто имеет поясное строение. В центре древостой наиболее разреженный, иногда даже сомкнутый, представлен *Pinus sylvestris* f. *litwinowii*. Здесь обычно и более редкий кустарничковый ярус, зачастую *Eriophorum vaginatum* преобладает над кустарничками, иногда встречаются и небольшие мочажины. Центральная часть окружена полосой с более высокой *Pinus sylvestris* f. *uliginosa*, иногда здесь растет и неболотная форма сосны. Сомкнутость древостоя достигает 0,4–0,6. Ярус кустарничков густой и высокий, до 40–60 см, поэтому моховой покров, затеняемый ими и покрытый опадом листьев, несплошной. В этой полосе обычны лесные виды: *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*. Вдоль минерального берега встречается узкая олигомезотрофная полоса, где в древостое примешивается *Betula pendula*, *B. pubescens*, в моховом покрове появляются *Sphagnum fallax*, *Sph. centrale*, в травяном покрове может встретиться даже *Phragmites australis*.

Площадь лугов в Западно-Двинском геоботаническом округе составляет 120,6 тыс. га (6,5%), среди которых преобладают суходольные (62,3%). Такие луга мелкоконтурны, сочетаются с участками пашни, в травостоях чаще доминируют *Poa angustifolia*, *Agrostis tenuis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Cynosurus cristatus*, *Festuca rubra*, *Briza media*, реже – *Arrhenatherum elatius*, *Helictotrichon pubescens*, *Festuca pratensis*, *F. arundinacea*. Отличительной чертой рек округа – глубоко врезанные узкие долины с крутыми склонами и слабо развитыми поймами (0,2–0,4 км) или не развитыми вовсе. Ввиду этого, доля пойменных лугов крайне мала – 4,7 тыс. га (0,3%) (см. рис. 7, табл. 2).

Далее приводится краткая характеристика структуры растительности (рис. 9) в разрезе районов, образующих Западно-Двинский геоботанический округ.

Полоцкий геоботанический район. Площадь лесов составляет 723,23 тыс га, лесистость является одной из наиболее высоких в стране – 66,7% (см. рис. 9, табл. 2). Сосновые суходольные леса занимают 15,4%, но сплошных однородных массивов здесь мало. Наиболее характерны сосняки в границах Нещердо-Городокской возвышенности (северная часть геоботанического района): к востоку от оз. Освейское (междуречье рек Свольна, Нища), южнее оз. Лисно, в междуречье верхнего течения рек Дрисса и Полота и

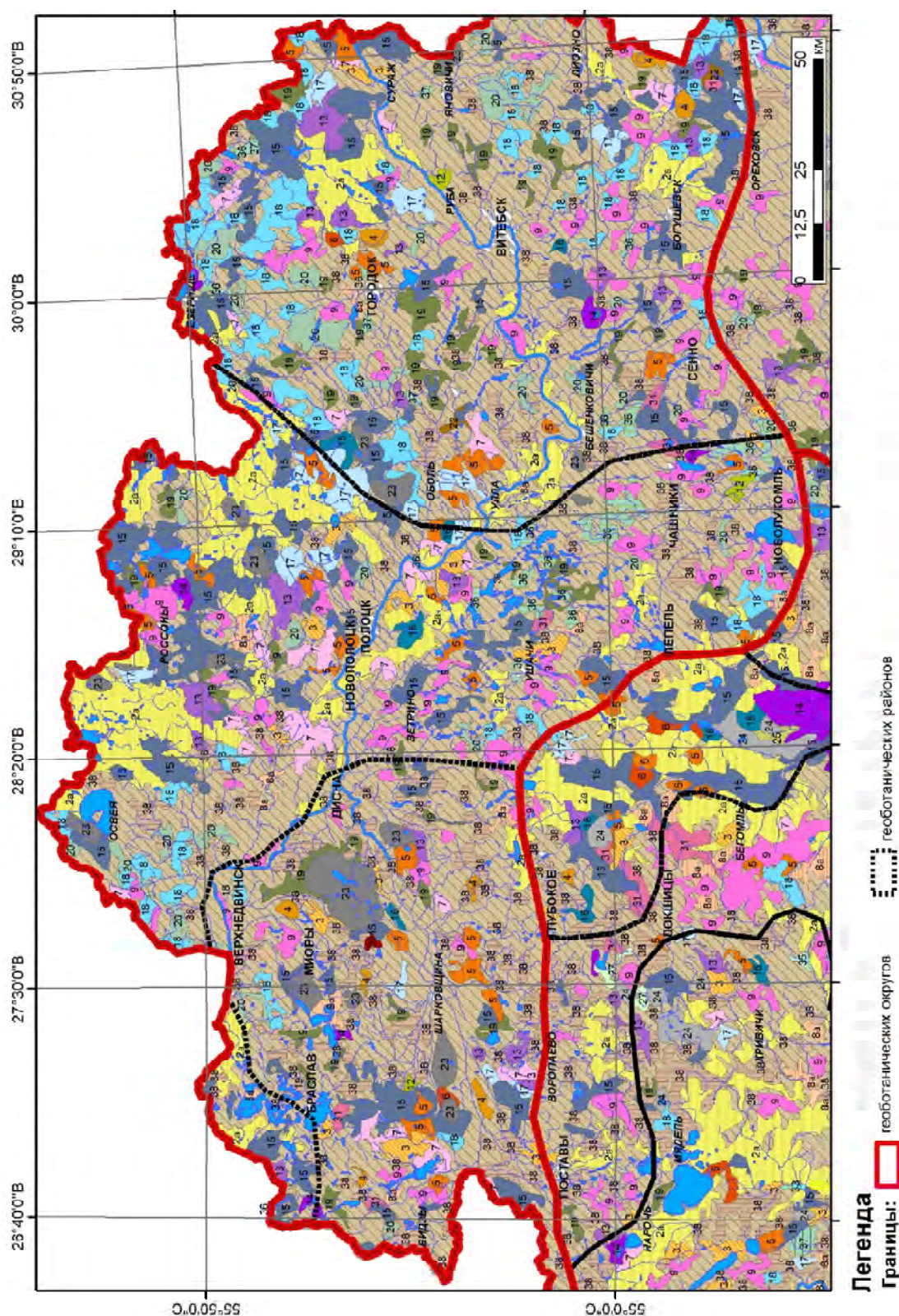


Рис. 9. Карта растительности⁵ Западно-Двинского геоботанического округа (М 1:2 000 000; уменьшенная копия⁶)

Fig. 9. Vegetation map of the Western Dvina Geobotanical District (scale 1:2,000,000; reduced copy)

⁵Здесь и далее номера на картах соответствуют номерам типологических категорий в табл. 1.

⁶Здесь и далее в статье вследствие ограниченности возможностей использования детального картографического материала в качестве иллюстрации приводится генерализированная карта (М 1:2 000 000), однако все расчеты площадей приведены по среднемасштабной карте (М 1:600 000).

ЛЕГЕНДА КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ БЕЛАРУСИ (М 1: 2 000 000)

ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

I. ХВОЙНЫЕ ЛЕСА

СОСНОВЫЕ (*Pinus sylvestris*) ЛЕСА

-  1. Сосновые вересково-лишайниковые (*Calluna vulgaris*, *Cladonia* spp., *Dicranum polysetum*) с разреженным моховым покровом (*Polytrichum juniperinum*, *P. piliferum*, *Pleurozium schreberi*)
-  2. Сосновые бруснично-зеленомошные (*Festuca ovina*, *Melampyrum pratense*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Dicranum polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*)
-  2а. южнотаежные с участием *Picea abies*
-  2б. подтаежные с *Picea abies* и *Quercus robur*
-  2в. полесские с *Quercus robur*
-  3. Сосновые чернично-зеленомошные (*Lycopodium annotinum*, *Molinia caerulea*, *Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis*)
-  4. Сосновые кустарничково-сфагново-долгомошные (*Carex nigra*, *Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium uliginosum*, *Pleurozium schreberi*, *Polytrichum commune*, *Sphagnum girgensohnii*, *Sph. fallax*)
-  5. Сосновые пушицево-кустарничково-сфагновые (*Eriophorum vaginatum*, *Ledum palustre*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*, *Sphagnum angustifolium*, *Sph. divinum*) на верховых болотах
-  6. Пушистоберезово-сосновые травяно-осоково-сфагновые (*Calamagrostis canescens*, *Carex appropinquata*, *C. lasiocarpa*, *C. chordorrhiza*, *Comarum palustre*, *Equisetum fluviatile*, *Menyanthes trifoliata*, *Thelypteris palustris*, *Phragmites australis*, *Calliergonella cuspidata*, *Sphagnum centrale*, *Sph. divinum*, *Sph. fallax*, *Sph. girgensohnii*, *Sph. squarrosum*) на переходных и низинных болотах

ЕЛОВЫЕ (*Picea abies*) ЛЕСА

-  7. Еловые и сосново-еловые чернично-зеленомошные в сочетании с чернично-сфагново-долгомошными (*Calamagrostis arundinacea*, *Goodyera repens*, *Lycopodium annotinum*, *Maianthemum bifolium*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Ptilium crista-castrensis*, *Sphagnum girgensohnii*, *Polytrichum commune*)

II. ШИРОКОЛИСТВЕННО-ХВОЙНЫЕ ЛЕСА

ШИРОКОЛИСТВЕННО (*Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*)-СОСНОВЫЕ (*Pinus sylvestris*) ЛЕСА

-  8. Широколиственно-сосновые мелкотравные (*Anemone nemorosa*, *Carex digitata*, *Galeobdolon luteum*, *Hepatica nobilis*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Pteridium aquilinum*, *Rubus saxatilis*, *Trientalis europaea*)
-  8а. южнотаежные со значительным участием *Picea abies* и разреженным моховым покровом (*Eurhynchium angustirete*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium affine*, *Pleurozium schreberi*)
-  8б. с подтаежными участием *Picea abies* и *Carpinus betulus*
-  8в. полесские со значительным участием *Carpinus betulus*

ШИРОКОЛИСТВЕННО (*Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Corylus avellana*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*)-ЕЛОВЫЕ (*Picea abies*) ЛЕСА

-  9. Широколиственно-еловые снытево-кисличные в сочетании с приручевыми (*Aegopodium podagraria*, *Ajuga reptans*, *Anemone nemorosa*, *Asarum europaeum*, *Carex digitata*, *Dryopteris filix-mas*, *Galeobdolon luteum*, *Galium odoratum*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Hepatica nobilis*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Stellaria holostea*, *Eurhynchium angustirete*, *Plagiomnium affine*, *Rhodobryum roseum*)
-  9а. подтаежные с *Carpinus betulus*

III. ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ (*Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*) ЛЕСА

ДУБОВЫЕ (*Quercus robur*) ЛЕСА

-  10. Дубовые снытево-кисличные в сочетании с чернично-орляковыми (*Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Carex digitata*, *Galeobdolon luteum*, *Melampyrum nemorosum*, *Melica nutans*, *Milium effusum*, *Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*, *Pteridium aquilinum*, *Polygonatum multiflorum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria holostea*)
-  10а. южнотаежные с участием *Picea abies*
-  10б. подтаежные с участием *Picea abies* и *Carpinus betulus*
-  10в. полесские со значительным участием *Carpinus betulus*
-  11. Дубравы пойменные (*Deschampsia cespitosa*, *Lysimachia nummularia*, *L. vulgaris*, *Lythrum salicaria*, *Poa pratensis*)

СМЕШАННЫЕ ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ (*Acer platanoides*, *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*) ЛЕСА

12. Смешанные широколиственные снытево-кисличные с преобладанием клена, липы, ольхи черной, ясеня, вяза (*Acer platanoides*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Ulmus glabra*; *Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Carex digitata*, *C. sylvatica*, *Galeobdolon luteum*, *Galium odoratum*, *Lathyrus vernus*, *Milium effusum*, *Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum multiflorum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria holostea*)
- 12а. подтаежные со значительным участием *Carpinus betulus*

IV. ЛИСТВЕННЫЕ КОРЕННЫЕ ЛЕСА НА БОЛОТАХ**ЧЕРНООЛЬХОВЫЕ (*Alnus glutinosa*) ЛЕСА**

13. Черноольховые крапивно-кочедыжниковые в сочетании с таволговыми (*Athyrium filix-femina*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Cirsium oleraceum*, *Dryopteris filix-mas*, *Festuca gigantea*, *Ficaria verna*, *Filipendula ulmaria*, *Geum rivale*, *Impatiens noli-tangere*, *Mercurialis perennis*, *Stellaria nemorum*, *Urtica dioica*, *Urtica galeopsifolia*)
14. Пушистоберезово-черноольховые гигрофильнотравно-осоковые (*Calla palustris*, *Carex acutiformis*, *C. elongata*, *C. pseudocyperus*, *C. riparia*, *C. vesicaria*, *Equisetum fluviatile*, *Iris pseudacorus*, *Lycopus europaeus*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Phragmites australis*, *Ranunculus lingua*, *Solanum dulcamara*, *Thelypteris palustris*)

ПУШИСТОБЕРЕЗОВЫЕ (*Betula pubescens*) ЛЕСА

15. Пушистоберезовые осоково-гигрофильнотравные (*Calla palustris*, *Carex acutiformis*, *C. appropinquata*, *C. cinerea*, *C. elongata*, *Comarum palustre*, *Equisetum fluviatile*, *Filipendula ulmaria*, *Lycopus europaeus*, *Menyanthes trifoliata*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Peucedanum palustre*, *Phragmites australis*, *Ranunculus lingua*, *Thelypteris palustris*) на низинных болотах
16. Сосново-пушистоберезовые осоково-травяно-сфагновые (*Calamagrostis canescens*, *Carex lasiocarpa*, *C. nigra*, *C. rostrata*, *Comarum palustre*, *Eriophorum vaginatum*, *Menyanthes trifoliata*, *Peucedanum palustre*, *Phragmites australis*, *Thelypteris palustris*, *Calliergonella cuspidata*, *Calliergon giganteum*, *Sphagnum centrale*, *Sph. fallax*) на переходных болотах

V. МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЛЕСА**ПОВИСЛОБЕРЕЗОВЫЕ (*Betula pendula*) ЛЕСА**

17. Повислоберезовые кустарничково-травяно-зеленомошные (*Agrostis tenuis*, *Calamagrostis epigeios*, *Calluna vulgaris*, *Carex ericetorum*, *Festuca ovina*, *Melampyrum pratense*, *Molinia caerulea*, *Orthilia secunda*, *Pilosella officinarum*, *Pteridium aquilinum*, *Rumex acetosella*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Dicranum polysetum*, *Pleurozium schreberi*) на месте подтаежных еловых и елово-сосновых лесов
- 17а. на месте полесских дубово-сосновых лесов
18. Повислоберезовые снытево-кисличные (*Aegopodium podagraria*, *Ajuga reptans*, *Anemone nemorosa*, *Carex digitata*, *Galeobdolon luteum*, *Galium odoratum*, *Hepatica nobilis*, *Lathyrus vernus*, *Maianthemum bifolium*, *Milium effusum*, *Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*, *Stellaria holostea*) на месте широколиственных и широколиственно-еловых лесов
- 18а. на месте широколиственных лесов

ОСИНОВЫЕ (*Populus tremula*) ЛЕСА

19. Осиновые снытево-кисличные в сочетании с вейниково-черничными (*Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Carex sylvatica*, *Galeobdolon luteum*, *Galium odoratum*, *Lathyrus vernus*, *Maianthemum bifolium*, *Milium effusum*, *Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum multiflorum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria holostea*, *Trientalis europaea*, *Vaccinium myrtillus*)

СЕРООЛЬХОВЫЕ (*Alnus incana*) ЛЕСА

20. Сероольховые кислично-снытевые в сочетании с папоротниково-крапивными (*Aegopodium podagraria*, *Anemone nemorosa*, *Asarum europaeum*, *Athyrium filix-femina*, *Carex sylvatica*, *Chaerophyllum aromaticum*, *Chrysosplenium alternifolium*, *Dryopteris filix-mas*, *Festuca gigantea*, *Filipendula ulmaria*, *Galeobdolon luteum*, *Impatiens noli-tangere*, *Mercurialis perennis*, *Oxalis acetosella*, *Paris quadrifolia*, *Polygonatum multiflorum*, *Pulmonaria obscura*, *Stellaria nemorum*)

КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

21. Ивовые заросли в поймах рек (*Salix alba*, *S. fragilis*, *Humulus lupulus*, *Filipendula ulmaria*, *Lysimachia vulgaris*, *Lythrum salicaria*, *Rubus caesius*, *Phalaroides arundinacea*, *Veronica longifolia*, *Urtica galeopsifolia*)
22. Ивняки (*Salix aurita*, *S. cinerea*, *S. pentandra*) мезоэвтрофные

БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ**ОЛИГОТРОФНЫЕ СФАГНОВЫЕ БОЛОТА**

23. Кустарничково-сфагновые (*Sphagnum fuscum*, *Chamaedaphne calyculata*, *Calluna vulgaris*) со вторичными озерами и сфагновыми мочажинами (*Sphagnum cuspidatum*, *Sph. balticum*, *Sph. majus*, *Scheuchzeria palus-*

tris, *Rhynchospora alba*, *Carex limosa*) в центре и на склонах, с периферийным рядом мезотрофных и мезоэвтрофных ассоциаций

24. Сосново-кустарничково-сфагновые (*Sphagnum divinum*, *Calluna vulgaris*, *Pinus sylvestris* f. *litwinowii*) со сфагновыми мочажинами (*Sphagnum balticum*, *Sph. cuspidatum*, *Eriophorum vaginatum*, *Rhynchospora alba*, *Scheuchzeria palustris*) с периферийным рядом мезотрофных и эвтрофных ассоциаций

МЕЗОТРОФНЫЕ СФАГНОВЫЕ БОЛОТА

25. Осоково-пушицево-травяно-сфагновые (*Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *Eriophorum vaginatum*, *E. polystachyon*, *Sphagnum fallax*, *Sph. angustifolium*, *Sph. obtusum*, *Sph. papillosum*) мезоолиготрофные и мезотрофные

ТРАВЯНЫЕ И ТРАВЯНО-ГИПНОВЫЕ ЭВТРОФНЫЕ БОЛОТА

26. Осоково-травяные (*Carex lasiocarpa*, *C. flava*, *C. rostrata*, *C. dioica*, *Menyanthes trifoliata*, *Baeothryon alpinum*, *Epipactis palustris*) с разреженным покровом мезоэвтрофных видов сфагнов (*Sphagnum warnstorffii*, *Sph. teres*, *Sph. squarrosum*) и с широким распространением *Salix rosmarinifolia*, *S. lapponum*, *Betula humilis*

27. Осоковые и осоково-гипновые (*Carex lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. diandra*, *C. panicea*, *C. limosa*, *Equisetum fluviatile*, *Peucedanum palustre*, виды рода *Drepanocladus*) иногда с участием сфагнов (*Sphagnum contortum*, *Sph. subsecundum*, *Sph. teres*, *Sph. warnstorffii*) мезоэвтрофные

28. Злаково-осоковые и осоково-гипновые (*Carex acuta*, *C. lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. diandra*, *C. elata*, *C. limosa*, *Calamagrostis neglecta*, *C. canescens*, *Calliergonella cuspidata*, *Calliergon giganteum*, *Drepanocladus aduncus*, *Dr. vernicosus*) эвтрофные

29. Влажно-высокотравные (*Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Carex pseudocyperus*, *Cicuta virosa*, *Scirpus sylvaticus*, *Acorus calamus*, *Iris pseudacorus*) эвтрофные

НАРУШЕННЫЕ ТОРФЯНИКИ

30. Вересковые (*Calluna vulgaris*), кустарничково-политрихово-сфагновые (*Calluna vulgaris*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Polytrichum strictum*, *Sphagnum angustifolium*, *Sph. magellanicum*) с хвойно-лиственным редколесьем (*Betula pendula*, *B. pubescens*, *Pinus sylvestris*) на деградированных торфяно-болотных почвах верхового типа

31. Многолетние и двулетние высокотравные нитрофильные сообщества (*Anthriscus sylvestris*, *Urtica dioica*, *Eupatorium cannabinum*, *Agrostis gigantea*, *Artemisia vulgaris*, *Phalaroides arundinacea*, *Poa pratensis*, *Rubus idaeus*, *Urtica dioica*) на деградированных торфяно-болотных почвах низинного типа

ЛУГОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

ЛУГА ПОЙМЕННЫЕ (ЗАЛИВНЫЕ) с участками кустарников (*Salix alba*, *S. cinerea*, *S. fragilis*, *S. pentandra*, *S. myrsinifolia*, *S. triandra*)

32. Остепненные луга (*Agrostis vinealis*, *Koeleria delavignei*, *Poa angustifolia*) с участками псаммофитных (*Corynephorus canescens*, *Festuca polesica*) пустошей, настоящих, сырых и болотистых лугов

33. Настоящие луга (*Anthoxanthum odoratum*, *Cynosurus cristatus*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Festuca pratensis*) с участками сырых и болотистых лугов

34. Сырые луга (*Alopecurus pratensis*, *Agrostis stolonifera*, *Beckmannia eruciformis*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa palustris*, *P. trivialis*) с участками настоящих и болотистых лугов

35. Болотистые луга (*Carex acuta*, *C. acutiformis*, *Equisetum fluviatile*, *Glyceria fluitans*, *Gl. maxima*, *Phalaroides arundinacea*, *Scirpus sylvaticus*) с участками настоящих и сырых лугов

ЛУГА ВНЕПОЙМЕННЫЕ (МАТЕРИКОВЫЕ) с участками кустарников (*Salix cinerea*, *S. caprea*, *S. triandra*, *S. myrsinifolia*, *S. rosmarinifolia*, *S. pentandra*, *S. aurita*, *Frangula alnus*)

36. Суходольные луга (*Agrostis tenuis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Arrhenatherum elatius*, *Briza media*, *Cynosurus cristatus*, *Festuca rubra*, *F. pratensis*, *Helictotrichon pubescens*, *Poa angustifolia*, *P. pratensis*, *Nardus stricta*) с участками псаммофитных пустошей (*Corynephorus canescens*, *Festuca polesica*, *Koeleria glauca*) и низинных лугов

37. Низинные луга (*Bistorta major*, *Deschampsia cespitosa*, *Fillipendula ulmaria*, *Juncus conglomeratus*, *J. effusus*, *Molinia coerulea*) с участками суходольных лугов

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ

38. Культурные сенокосы и пастбища (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Phleum pratensis*, *Festuca arundinacea*, *F. pratensis*), в том числе на осушенных землях, с участками восстанавливающейся природной растительности

39. Агрофитоценозы однолетних культур на пахотных землях (посевы *Secale cereale*, *Triticosecale*, *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Zea mays* ssp. *mays*, *Brassica napus* ssp. *oleifera*, засоренные *Apera spica-venti*, *Chenopodium album*, *Centaurea cyanus*, *Fallopia convolvulus*, *Tripleurospermum inodorum*, *Spergula arvensis*, *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*)

лесных массивах, окаймляющих течение рек Ушача, Сосница. Для этих мест характерны дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы и холмистый рельеф, что обуславливает преобладание зеленомошных боров (союз **DICRANO-PINION SYLVESTRIS**), чередующихся с лесными и открытыми болотами (прежде всего верхового типа).

Еловые (5,1%) и широколиственно-еловые (8,4%) леса занимают компактные массивы и приурочены к наиболее богатым дерново-подзолистым супесчаным и суглинистым почвами. Типологическая структура ельников довольно однообразна. В лесных массивах вдоль рек Дрисса, Полота, Ловать основной фон образуют ельники чернично-зеленомошные (асс. *Sphagno girgensohnii-Piceetum abietis*). Крупные массивы в северной и южной частях геоботанического района образуют ельники мелкотравно-зеленомошные (асс. *Quercus roboris-Piceetum abietis*) с небольшой примесью широколиственных пород (см. рис. 9, табл. 2).

В центральной части геоботанического района фон образуют лиственные болотные леса (19,7%). Широколиственных лесов очень мало (1,1%). Интенсивные рубки лесов в прошлом и зарастание бывших сельскохозяйственных земель (с конца 1980-х гг.) объясняют значительную долю мелколиственных производных лесов (26,2%) (см. рис. 9, табл. 2).

В пределах характеризуемой территории преобладают типичные верховые болота (класс **OXY-COCCO-SPHAGNETEA**). Для болот характерны выраженные грядово-мочажинные комплексы. Наиболее крупные болотные массивы отмечены к западу от оз. Освейское, а также в окрестностях г.п. Россоны. Крупных массивов низинных болот, пойменных лугов нет (см. рис. 9, табл. 2).

Суражско-Лучесский геоботанический район. Площадь лесов – 635,7 тыс. га, лесистость – 53,3% (см. рис. 9, табл. 2). Характеризуется значительным преобладанием вторичных мелколиственных лесов (37,6%), которые занимают крупные массивы в северной и восточных частях. Особенность региона – крупные массивы сероольховых лесов, сформировавшиеся на землях, выведенных из хозяйственного оборота.

Сосновые и елово-сосновые леса занимают небольшие площади (7,4%) и сосредоточены преимущественно на склонах Нещердо-Городокской возвышенности (вдоль рек Оболь, Овсянка, Тростянка). Рельеф местности сложный с преобладанием сосновых боров на холмах с песчаными грядами и дюнами в сочетании с болотными сосняками (2,9%) на плоских понижениях. Еловые (3,4%) и широколиственно-еловые (8,7%) леса встречаются компактными массивами преимущественно в южной части геобота-

нического района (в пределах Лучесской низины). Черноольховые леса занимают небольшие участки, наиболее крупные массивы ольсов размещены в водосборной части рек Рудня (Суражская низина), Овсянка, Рябинка (Нещердо-Городокская возвышенность). В отдельных местах на наиболее богатых почвах небольшие территории (2,1%) занимают широколиственные леса (см. рис. 9, табл. 2).

Крупные массивы верховых болот (10,8 тыс. га – 2,9%) расположены вдоль северо-восточной границы Суражско-Лучесского геоботанического района (в пределах Полоцкой низины) в водосборной части р. Оболь. Болота кустарничково-сфагновые и сосново-кустарничково-сфагновые, грядово-мочажинные со вторичными озерами и сфагновыми мочажинами (с доминированием на кочках и грядах – *Sphagnum fuscum*, реже *Sph. divinum*; в мочажинах – *Sph. cuspidatum*, *Sph. balticum*, *Sph. majus*, *Scheuchzeria palustris*, *Rhynchospora alba*, *Carex limosa*) (см. рис. 9, табл. 2).

Важные для сохранения биоразнообразия пойменные луга, низинные осоково-травяные и сфагновые переходные болота встречаются на территории геоботанического района фрагментарно (см. рис. 9, табл. 2).

Дисненский геоботанический район по структуре лесного покрова значительно отличается от других территорий подзоны. Площадь лесов – 229,51 тыс. га, лесистость относительно невысокая – 34,8% (см. рис. 9, табл. 2). В бассейне р. Дисна преобладают дерново-подзолистые глееватые тяжелосуглинистые почвы озерно-ледникового происхождения и моренные суглинистые почвы, район отличается большим участием широколиственно-хвойных лесов (13,2%). Площадь широколиственных лесов невысока (2,1%), но они формируются в оптимальных почвенно-гидрологических условиях, где являются фитоценотически более устойчивыми (кисличные и снытевые серии) [2].

Многочисленные обширные болота (14,3%) преимущественно верхового типа (класс **OXY-COCCO-SPHAGNETEA**), сосновые леса на болотах (асс. *Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris* и *Sphagno-Pinetum sylvestris* – 5,8%) и лиственные болотные леса (класс **ALNETEA GLUTINOSAE** – 17,3%) занимают значительные площади. Многие болотные массивы в регионе в прошлом нарушены хозяйственной деятельностью и в настоящее время на них формируется производная растительность (4,0%) (см. рис. 9, табл. 2).

Браславский геоботанический район размещен между Браславскими озерами и р. Западная Двина. Невысокая Браславская гряда, окружающая группу озер, имеет сравнительно

ровный рельеф; в западной части выделяется ряд камовых песчано-гравийных холмов. Преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на моренных глинах и суглинках. Здесь господствуют сосновые боры и елово-

Ошмянско - Минский геоботанический округ

Территория данного геоботанического округа является водораздельной. Она охватывает Ошмянскую и Минскую возвышенности, с которых берут начало реки Западно-Двинского, Неманского, Днепровского и Припятского бассейнов [2]. Орографически данная территория не является целостной: Минская и Ошмянская возвышенности, Свенцянские гряды размещаются по периферии Нарочанско-Вилейской низины; к востоку от Минской возвышенности в границы округа входит Верхне-Березинская низина и северо-западная часть Центрально-Березинской равнины, между которыми расположены моренные возвышенности Борисовской гряды.

Почвенный покров распределен на территории округа пёстрой мозаикой. На Свенцянских грядах и в западной части Ошмянской возвышенности преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы. Для Минской возвышенности (в ее наиболее высокой части) характерно преобладание дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почв, развивающихся на лёссовидных суглинках. Также здесь встречаются дерново-подзолистые супесчаные почвы на валунных моренных суглинках, супесях и песках [2]. Супесчаные почвы покрывают Нарочанско-Вилейскую низину, где образуют сочетания с песчаными почвами, нередко на дюнных всхолмлениях.

В пределах Верхнеберезинской равнины основной фон образуют песчаные и супесчаные, нередко заболоченные почвы, однако значительная ее часть занята торфяно-болотными почвами (как правило, низинного типа), которые занимают значительные площади по обоим берегам р. Березина, вплоть до южной границы (окрестности оз. Палик) одноименного геоботанического района. Сложная мозаика из песчаных, супесчаных дерново-подзолистых почв в сочетании с торфяно-болотными почвами различного типа (верховые, переходные, низинные) характерна для правобережной части Центрально-Березинской равнины [2].

В отличие от других аналогичных территориальных единиц для растительности Ошмянско-Минского геоботанического округа характерно преобладание сосновых боров, развивающихся на песчаных и супесчаных почвах. В западной части округа в напочвенном покрове зеленомошных сосняков нередко отмечается высокое оби-

сосновые субори (всего – 11,1%) на холмах с песчаными и супесчаными почвами, в западинах широко распространены хвойные и лиственные болотные леса (30,6%) преимущественно мезо- и эвтрофного типа (см. табл. 2, рис. 2, 5).

лие *Avenella flexuosa*, который может формировать сплошные ковры (см. рис. 7, табл. 2).

В границах Ошмянско-Минского геоботанического округа (рис. 10) выделены 3 района с характерной структурой растительного покрова.

Нарочанско-Вилейский геоботанический район. Общая площадь лесов – 348,7 тыс. га, лесистость – 46,8%. Характеризуется преобладанием суходольных сосновых лесов (54,8%). Они охватывают западный берег оз. Нарочь и распространены почти на всем протяжении р. Вилия. Типологический состав их однообразен: на озерных и аллювиальных песках доминируют монодоминантные бруснично-зеленомошные сосновые леса, на дюнных всхолмлениях встречаются вересково-лишайниковые боры, в понижениях между ними – чернично-зеленомошные сосняки, на более плодородных почвах – елово-сосновые субори. Еловые (3,2%) и широколиственно-хвойные леса (24,7%) встречаются небольшими массивами в северной части геоботанического района. Компактными массивами встречаются болотные сосняки (3,4%), среди которых доминируют кустарничково-сфагновые и осоково-сфагновые леса. Доля мелколиственных производных лесов составляет 10,8%, лиственных болотных – 10,5% (см. рис. 6, 10, табл. 2).

Открытые болота (5,7%), в основном верхового (4,3%) и низинного (1,4%) типов, занимают отдельные понижения или долины рек и более распространены по правобережью р. Вилия. В условиях Нарочанско-Вилейской равнины, выстланной мощными песчаными толщами, в питании торфяников (особенно на первой стадии развития) значительное участие принимали грунтовые воды, что определило смешанное строение торфяной залежи. Пойменные луга встречаются фрагментарно (0,6%), внепойменные (3,9%) расположены небольшими участками среди лесов и пашни (см. рис. 10, табл. 2).

Минско-Борисовский геоботанический район. Площадь лесов составляет 829,93 тыс. га, лесистость – 41,9%. Район территориально включает Минскую и Ошмянскую возвышенности, Свенцянские и Борисовскую гряды. Здесь преобладают плодородные дерново-подзолистые пылевато-суглинистые и супесчаные почвы, подстилаемые мореной. Основной фон на юго-востоке геоботанического района образуют

кустарничково-зеленомошные сосновые леса (16,9%) и елово-сосновые субори (21,0%), в центре и в западной части – широколиственно-еловые леса (16,2%). Площадь производных мелколиственных лесов существенная (17,0%). Небольшие массивы на торфяно-болотных почвах занимают болотные сосновые (2,2%) и лиственные (10,0%) леса. Доли открытых болот и пойменных лугов в структуре растительного покрова района относительно невелики – 0,3% и 1,6% соответственно. На растительность деградированных торфяников приходится 3,6%, внепойменных лугов – 4,6% площади наземной растительности характеризуемой территории (см. рис. 3, 6, 10, табл. 1, 2).

Верхне-Березинский геоботанический район. Леса занимают 163,6 тыс. га, лесистость – 61,0%. Район расположен в верхнем течении крупной речной артерии региона – р. Бе-

резина. Центральная часть низины несколько возвышена и занята сосновыми борами (16,2%). Нужно отметить высокую концентрацию в данном регионе сосновых (12,7%), а также лиственных (25,6%) болотных лесов. В границах геоботанического района значительная площадь территории приходится на Березинский биосферный заповедник, поэтому участие вторичных мелколиственных лесов здесь незначительное (8,8%).

Доля открытых болот на территории района довольно велика (10,3%); здесь представлена растительность верховых (8,8%), переходных (1,1%) и низинных (0,4%) болот. Пойменные луга представлены группой ассоциаций болотистых пойменных лугов, которые в регионе имеют незначительное распространение (0,1%) и приурочены преимущественно к долине р. Березина. Внепойменные луга расположены небольшими участками (1,0%) (см. рис. 2, 10, табл. 2).

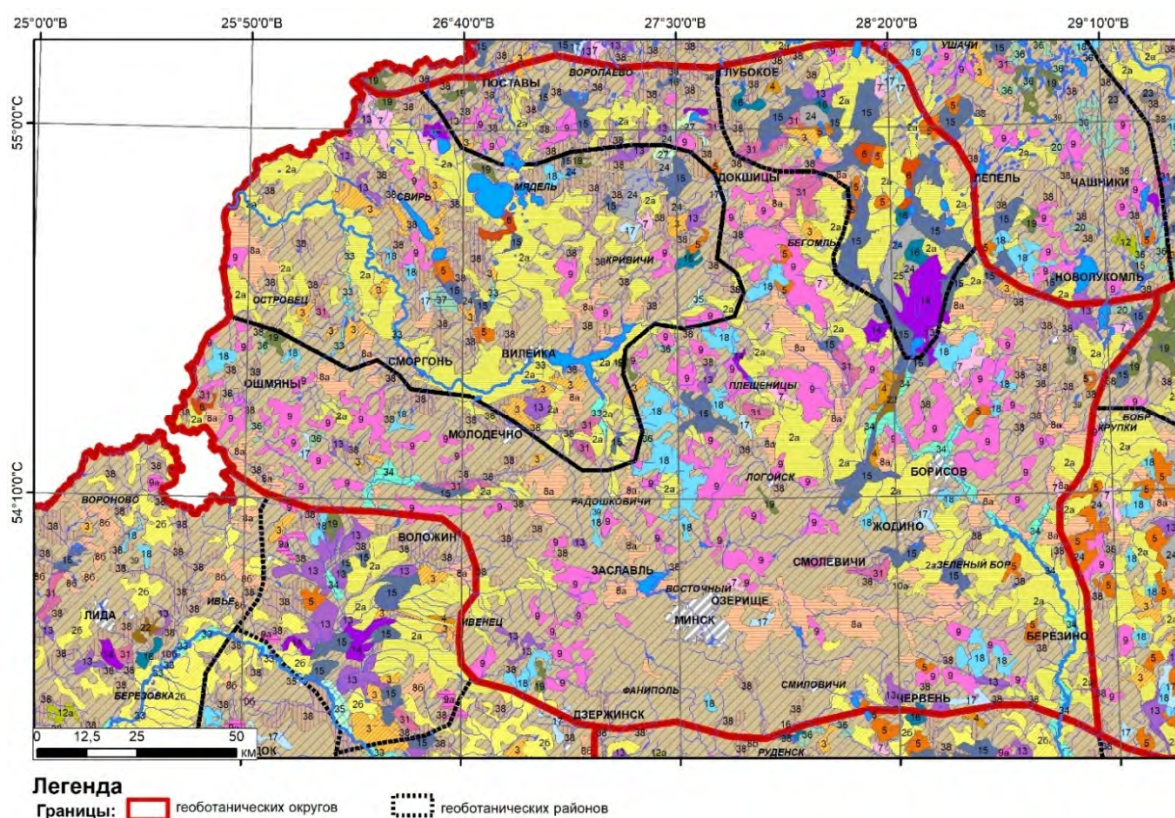


Рис. 10. Карта растительности Ошмянско-Минского геоботанического округа

Fig. 10. Vegetation map of the Oshmyany-Minsk geobotanical district

Оршанско-Могилевский геоботанический округ

Рельеф округа определяется относительной однородностью с преобладанием возвышенных платообразных элементов рельефа. Территория находится в пределах Оршанской, Горецко-Мстиславской возвышенностей, Оршанско-Могилевской, Костюковичской и Центрально-Березинской равнин.

Северная часть округа занята Оршанской и Горецко-Мстиславской возвышенностями, имеющими среднюю высоту 210–220 м над ур. м. Первая представляет комплекс конечных морен сожского возраста с влиянием поозерского оледенения в северных участках. Поверхность Оршанской возвышенности характеризуется как

плоско-волнистая с наличием камов, озов, долин стока ледниковых вод и термокарстовых западин. Долины рек глубоковрезанные с неразвитой поймой. Горецко-Мстиславская возвышенность имеет на своей поверхности следы сожского оледенения, представленного лёссовидными карбонатными суглинками и супесями, в результате чего широкое развитие получила овражно-балочная сеть глубиной до 30 м. Характерной чертой является наличие термокарстовых и суффозионных западин.

Основную часть округа занимают возвышенные Оршанско-Могилевская и Костюковичская равнины со средней высотой 180–185 м. Их территория представляет плато с выраженными речными долинами рек Днепр, Сож, Друть, Беседь и др. Стоит отметить, что генезис данных двух равнин несколько отличается – Оршанско-Могилевская имеет на своей дневной поверхности следы сожского оледенения, что отличает ее от Костюковичской, сформированной во время днепровского оледенения, относительной молодостью, выраженной в большем расчленении рельефа.

Западная часть занята пологоволнистой флювиогляциальной Центрально-Березинской равниной (со средней высотой 170–175 м), сформированной под воздействием талых ледниковых вод. На некоторых участках встречаются эоловые дюны. Для равнины характерна повсеместность заторфованных суффозионных ложбин.

Территория округа имеет довольно сильно дифференцированную почвенную мозаику. Основной особенностью является наличие крупных массивов с лёссовидными суглинками и лёссами в качестве почвообразующих пород, что повлияло на высокую степень эродированности почв, в частности, на севере представленного района. Южная часть сложена водно-ледниковыми суглинками и древними аллювиальными песками. Оценивая почвенное разнообразие, большую часть района занимают автоморфные почвы, в особенности, дерново-подзолистые местами эродированные на мощных лёссах, лёссовидных и водно-ледниковых суглинках.

Полугидроморфные почвы получили развитие к югу по линии Копысь-Маслаки-Сеньково, где аллювиальные дерновые глееватые и глеевые почвы занимают главенствующее положение после выхода рек с возвышенных участков на равнинную местность с формированием широких пойм. В районе г. Славгород вплоть до г. Костюковичи распространены подзолистые иллювиально-гумусовые глееватые и глеевые почвы на песках. В юго-восточной части Костюковичской равнины получили развитие дерново-карбонатные заболоченные почвы. Гидроморфные почвы

получили распространение в заторфованных долинах р. Друть и притоков р. Сож, а также к востоку от г. Быхова, представляя массивы торфяно-болотных низинных почв.

Для Оршанско-Могилевского геоботанического округа (рис. 11, см. рис. 7, табл. 2) характерно высокая доля участия широколиственно-хвойных (31,8%) и вторичных лиственных (257,9 тыс. га – 19,2%) лесов, что отражает природные (рельеф, почвы, гидрографическая сеть) и антропогенные особенности формирования растительного покрова региона. Болота встречаются небольшими участками (1,8%).

Луга в границах характеризуемого геоботанического округа занимают 122,8 тыс. га (9,2%), их отличительной чертой является наибольшая удельная доля в северной геоботанической подзоне пойменных лугов (29%), среди которых доминируют гигромезофитные злаковые фитоценозы. Реки региона (Днепр, Сож, Проня и др.) имеют развитые поймы, на минеральном аллювии которых развиваются сообщества с преобладанием *Alopecurus pratensis*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa palustris*. Среди внепойменных лугов доминируют суходольные (57,6%). Поскольку округ характеризуется распространением пылеватосуглинистых почв на лёссовидных породах, флористическое и фитоценотическое богатство лугов здесь выше, чем в соседнем Западно-Двинском округе (см. рис. 7, табл. 2).

Оршанско-Приднепровский геоботанический район. Площадь лесов составляет 451,73 тыс. га, лесистость – 35,8%. Крупных лесных массивов здесь нет. Наиболее значительные участки широколиственно-хвойных и вторичных производных лесов расположены вдоль рек Днепр, Лахва, Проня, Бобр. Основное отличие данного района в том, что здесь размещается единственный комплекс лесов в Беларуси, в котором преобладают широколиственно-хвойные леса (41,5%), главным образом, за счет ельников (23,7%), формирующихся на дерново-подзолистых почвах на лёссоподобных суглинках (одни из наиболее плодородных почв страны). Они характеризуются примесью в составе древостоя *Quercus robur* и наличием неморальных элементов в подлеске и напочвенном покрове. Сочетание неморальных и бореальных видов в напочвенном покрове, его высокая видовая насыщенность, придают особую значимость этим лесам при формировании биоразнообразия растительного покрова региона. Вдоль р. Днепр размещен небольшой массив кустарничково-зеленомошных боров (7,3%), на довольно глубоких песках и супесях. Производные лиственные леса (повислоберезовые и осиновые) размещаются компакт-

ными массивами (21,0%) преимущественно в северной части геоботанического района, небольшими участками здесь встречаются также лиственные (7,4%) и сосновые (2,2%) болотные леса (см. рис. 6, 11, табл. 2).

Характерной особенностью района является широкое распространение пойменных лугов в долине р. Днепр, среди которых преобладают разнотравно-злаковые гидромезофитные сообщества союза *DESCHAMPSION CESPITOSAE* (асс. *Poa palustris*–*Alopecuretum pratensis*, *Galio phytosarpi*–*Alopecuretum pratensis*).

Березинско-Друтский геоботанический район. Лесистость региона является одной из наиболее высоких в Беларуси – 61,3%, площадь лесов составляет 264,59 тыс. га. В типологическом рисунке растительности доминируют кустарничково-зеленомошные сосновые боры (26,8%) и елово-сосновые суборы (15,1%). Здесь также следует отметить довольно высокую площадь чернично-сфагново-зеленомошных сосняков (асс. *Molinio caeruleae*–*Pinetum sylvestris*), формирующихся в основном на водно-ледниковых песках водораздельных участков Березины и Друти. Еловые (2,1%) и широколиствен-

но-еловые (5,1%) леса встречаются небольшими участками среди кустарничково-зеленомошных сосняков союза *DICRANO-PINION SYLVESTRIS*. Характерно сравнительно невысокая доля производных лесов (18,1%), а также коренных черно-ольховых и пушистоберезовых лесов на болотах (10,1%) (см. рис. 6, 11, табл. 2).

Обширные площади занимают сосновые леса на верховых и переходных болотах (9,8%), а также нелесные торфяники (7,8%). Болотные массивы представлены в виде сложных систем. Облик болот формируют сосново-кустарничково-сфагновые сообщества (асс. *Sphagno-Pinetum sylvestris*) и сосновые редколесья, которые занимают 25–80% площади исследованных болот (см. рис. 11, табл. 2).

Следует отметить, что в пределах Березинско-Друтского междуречья наблюдается смена северо-западноевропейских верховых сфагновых болот (на которых существенную ценоотическую роль играют кустарничково-сфагновые сообщества (с доминированием *Sph. fuscum*) на восточноевропейские (южнорусские), где основным эдификатором фитоценозов является *Sphagnum divinum*.

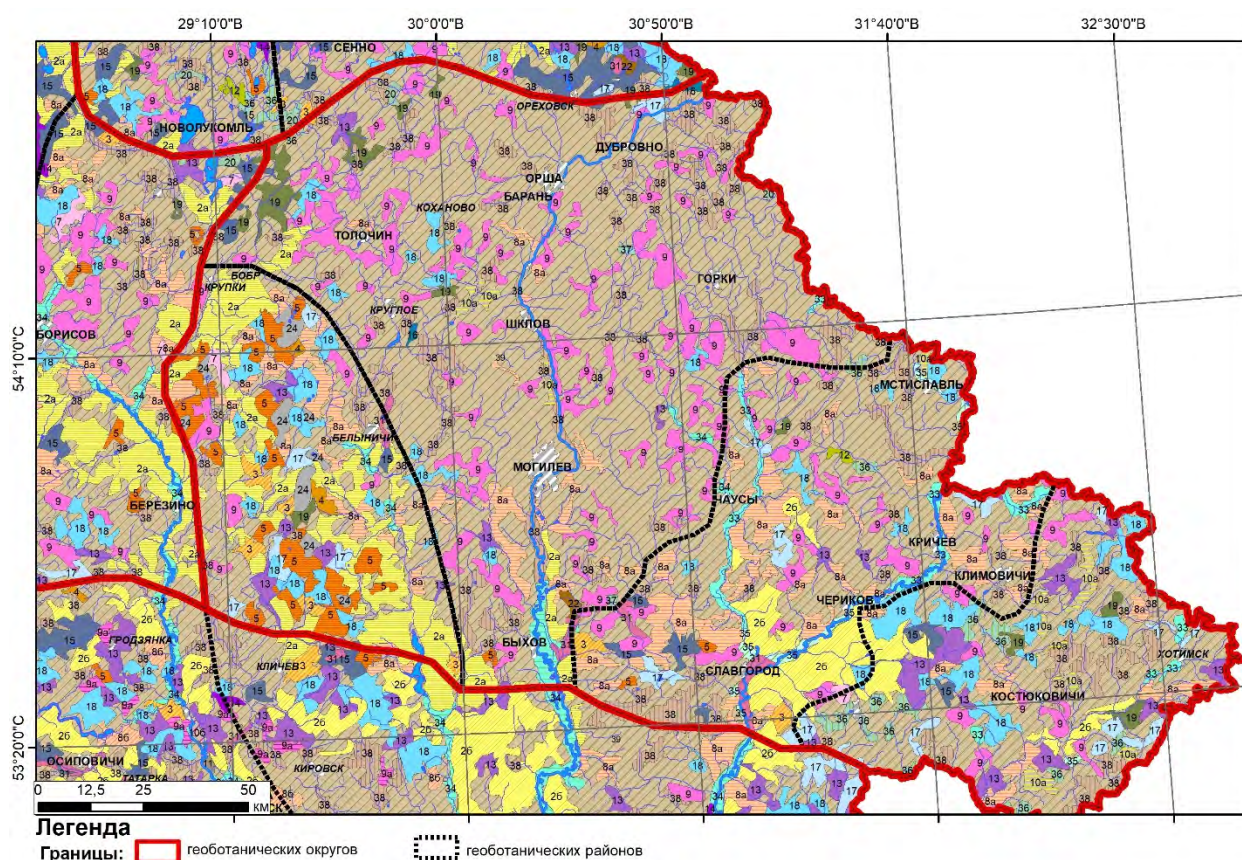


Рис. 11. Карта растительности Оршанско-Могилевского геоботанического округа

Fig. 11. Vegetation map of the Orsha-Mogilev geobotanical district

По сравнению с более северными болотами (Дисненского, Полоцкого, Суражско-Луческого геоботанических районов) грядово-мочажинные комплексы (ГМК) на болотных массивах этого типа не занимают больших площадей (5–35%) и расположены они в центральной части на склонах. Мочажины встречаются и на вершине болотных массивов, образуя комплекс с сосново-кустарничково-сфагновыми и сосново-кустарничково-пушицево-сфагновыми (*Sph. divinum*) сообществами, покрывающими все пространство между мочажинами и характерными для гряд. В мочажинах расположены пушицево-сфагновые и очеретниково-сфагновые сообщества со *Sph. cuspidatum* и *Sph. balticum*. Для сообществ гряд и вершин болотных массивов характерна *Pinus sylvestris* f. *litwinowii*. Широко распространены сосново-кустарничково-сфагновые сообщества с *Pinus sylvestris* f. *uliginosa*, встречающиеся по периферии центральной части болот, а также на наиболее дренируемых участках, вблизи первичных озер на вершине. Среди кустарников преобладает *Calluna vulgaris* и *Ledum palustre*. Общая мощность торфяной залежи достигает 3–5 м.

Таким образом, Березинско-Друтское междуречье можно рассматривать как важный биогеографический рубеж распространения сфагновых болот Восточной Европы.

Несмотря на небольшую площадь лугов в районе (2,3 тыс. га), характерной особенностью является значительная доля (28,7%) пойменных лугов, формирующихся в долинах рек Березина и Друть. Наибольшее распространение здесь получили пойменные настоящие и болотистые луга (см. рис. 11, табл. 2).

Беседский геоботанический район. Площадь лесов – 179,21 тыс. га, лесистость – 41,1%. Характеризуется преобладанием вторичных лиственных лесов (24,0%), лиственных лесов на низинных болотах (22,8%), а также суходольных зеленомошных сосняков (21,6%). Широколиственно-хвойные леса в основном сосредоточены в центральной и южной части района (18,6%). Примечательно, что среди других регионов северной геоботанической подзоны здесь наиболее высокая доля широколиственных лесов (7,8%), прежде всего еловых дубрав, которые образуют довольно компактные лесные массивы, что обусловлено развитием богатых дерново-подзолистых суглинистых почв на моренных суглинках и лёссовидных суглинках (см. рис. 6, 11, табл. 2).

II. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов (центральная)

Площадь лесной растительности в границах геоботанической подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов составляет 2,54 млн га (леси-

Для характеризуемого геоботанического района характерна значительная доля луговой растительности (11,5%). Наибольшие площади (0,6%) пойменных лугов сосредоточены в долине р. Беседь, среди которых преобладают злаковые мезофитные сообщества пор. **ARRHENATHERETALIA ELATIORIS** (асс. *Trifolio-Festucetum rubrae*, *Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis*, *Deschampsio-Festucetum rubrae*) и сообщества болотистых лугов союза **MAGNOCARICION GRACILIS** (асс. *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*). Отличительной особенностью является значительная доля (10,9%) сохранившихся суходольных лугов (см. рис. 11, табл. 2).

Сожский геоботанический район. Площадь лесов – 276,6 тыс. га, лесистость – 46,2%. Структура лесного покрова неоднородна: в юго-восточной части вдоль р. Сож широко распространены массивы сосновых зеленомошных боров на моренных и водно-ледниковых песках и супесях, центральная и западная часть района характеризуется преобладанием широколиственно-сосновых лесов, а к северу и к востоку структура лесов схожа по составу с Оршанско-Приднепровским районом (см. рис. 6, 11, табл. 2).

Отличительной чертой региона является самая большая площадь в северной подзоне пойменных лугов (16,4 тыс. га), расположенных в долинах рек Сож, Проня и Остер (см. табл. 2). Для пойменных лугов р. Остер характерно широкое распространение злаковых мезофитных сообществ пор. **ARRHENATHERETALIA ELATIORIS** (асс. *Festucetum pratensis*, *Trifolio-Festucetum rubrae*, *Anthoxantho odorati-Agrostietum tenuis*, *Deschampsio-Festucetum rubrae*) с небольшими участками ксеромезофитных сообществ союза **AGROSTION VINEALIS** (асс. *Koelerio-Agrostietum vinealis*, *Poetum angustifoliae*).

Пойменные луга верхнего течения рек Сож и Проня отличаются преобладанием сообществ пор. **ARRHENATHERETALIA ELATIORIS** (асс. *Festucetum pratensis*, *Trifolio-Festucetum rubrae*) с фрагментами ксеромезофитных и гидромезофитных лугов. Пойменные луга нижнего течения данных рек выделяются преобладанием сообществ союзов **DESCHAMPSION CESPITOSAE** (асс. *Poo palustris-Alopecuretum pratensis*, *Galio phytoscarpi-Alopecuretum pratensis*), **FILIPENDULION ULMARIAE** (асс. *Lysimachio vulgaris-Filipenduletum ulmariae*) и **MAGNOCARICION GRACILIS** (асс. *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*).

Суходольные сосновые леса преобладают в большинстве геоботанических районов (доля в лесопокрываемой площади от 12,4%

до 38,8%), к югу закономерно уменьшается доля еловых лесов (еловые и широколиственно-еловые в совокупности занимают – 7,6%) и увеличивается распространение широколиственных лесов (4,6%). Значительную долю в составе лесной растительности занимают лиственные болотные леса (15,8%), а также локально довольно крупными массивами встречаются сосновые болотные леса (2,1%). По сравнению с северной геоботанической подзоной площади, занятые мелколиственными производными лесами с (преобладанием *Betula pendula*, *Populus tremula*) здесь существенно ниже – 342,9 тыс. га (12,1%) (см. табл. 1, 2, рис. 8Б).

Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов отличается, главным образом, наличием смешанных грабово-хвойных лесов, в которых древесный ярус формируют *Picea abies* и *Pinus sylvestris*, часто с плотным вторым ярусом из *Carpinus betulus*. В результате на фоне разреженного мохового покрова, состоящего обычно из *Eurhynchium angustirete*, *Hylocomium splendens*, *Plagiomnium affine*, *Pleurozium schreberi*), формируется сложная комбинация травяно-кустарничкового яруса из неморальных и бореальных видов.

Важно отметить, что при продвижении на восток, распространение *Carpinus betulus* значительно сокращается, в связи с чем его фитоцено-

тическая значимость на юго-востоке подзоны ослабевает. Кроме этого, с широколиственными и смешанными лесами в западной части страны связано распространение ряда центральноевропейских видов, которые находятся на восточной границе ареала: *Hedera helix*, *Hordelymus europaeus*, *Isopyrum thalictroides*, *Melittis melissophyllum*, *Ranunculus lanuginosus* и другие.

Болота встречаются фрагментарно на ограниченной площади (0,7%), с преобладанием низинных (0,6%). Вместе с тем на территории геоботанической подзоны значительные площади занимают деградированные торфяники со вторичной антропогенно-производной растительностью (3,4%) (см. табл. 1, 2, рис. 8Б).

Луга в границах центральной подзоны занимают 163,5 тыс. га (5,8%), среди которых преобладают внепойменные (71,2%). Соотношение суходольных и низинных лугов составляет 1:2. Пойменные луга центральной подзоны занимают 25 тыс. га (1,7%), представлены, главным образом, настоящими и болотистыми, приурочены к поймам рек Березина, Днепр, Неман и Сож (см. табл. 1, 2, рис. 8Б).

Далее охарактеризуем современную структуру лесной растительности в разрезе 2 геоботанических округов и 8 районов (см. рис. 1).

Неманско-Предполесский геоботанический округ

На территории округа (см. рис. 2) представлено разнообразие орографических условий и выделяются 3 гипсометрических уровня: 1) низменный – с преобладанием водно-ледниковых, озерно-аллювиальных и озерно-ледниковых низменностей высотой от 80 до 160 м; 2) средневысотный, представленный моренными и водно-ледниковыми равнинами высотой от 150 до 200 м; 3) возвышенный – с конечно-моренными возвышенностями высотой от 190 до 324 м.

Центральным звеном в геоморфологическом строении является долина р. Неман. Она меняет облик на всем протяжении течения от широкой и заболоченной долины в верховьях до узкой – в среднем, и каньонобразной в нижнем течении. В соответствии с этим меняется и степень заболоченности территории, где наиболее крупные массивы расположены в верхней части течения рек в пределах Беларуси. Преобладающие почвы в долине реки – аллювиальные дерновые глееватые и глеевые на различных типах аллювия.

Конечно-моренные возвышенности являются южными рубежами сожского (на юге) и поозерского (на западе) и характеризуются сильным эрозийным расчленением, наличием овражно-балочной сети. В пределах Новогрудской возвышенности и Копыльской гряды развитие эрозий-

ных процессов определяется наличием легкоразмываемых лёссовидных пород, покрывающих морену. Стоит отметить климатические особенности Новогрудской возвышенности – ее западные склоны являются одними из наиболее увлажненных участков территории Беларуси с годовой суммой осадков более 750 мм.

Волковысская возвышенность разделяется меридионально р. Россь на две части – холмистую восточную и более пологую западную, рельеф которой довольно схож со Слонимской возвышенной равниной в части развития крупных плато с отдельными камовыми холмами и грядами. В поозерское оледенение сформирована Гродненская возвышенность, обладающая наиболее четкой выраженностью холмисто-грядового рельефа в округе. Для возвышенностей характерно преобладание дерново-подзолистых завалуненных супесчаных и суглинистых почв. В возвышенной части округа отмечается интенсивная распаханность ввиду высокого плодородия почв.

Рельеф Лидской и Столбцовой моренных равнин определяется как волнистый с наличием водно-ледниковых и моренных холмистых гряд. Между ними на месте остатков озерно-ледниковых водоемов образованы крупные заболоченные котловины. Почвенный покров неоднород-

ный с чередованием дерново-подзолистых валунно-суглинистых и валунно-супесчаных, а также торфяно-болотных почв.

Барановичская и Пружанская водно-ледниковые равнины представляют собой относительно плавный переход от краевых ледниковых возвышенностей к Полесской низменности. На территории равнин рельеф характеризуется как пологоувалистый с наличием отдельных холмистых возвышений. В границах Пружанской равнины также выделяется западный участок Наревско-Ясельдинской низменности, занятый долинами стока вод болота Дикое в реки Нарев (бассейн Балтийского моря) и Ясельда (бассейн Черного моря). В пределах Барановичской и Пружанской равнин наибольшее распространение получили дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, а также торфяно-болотные почвы.

В составе Неманско-Предполесского округа выделено 4 геоботанических района (рис. 12).

Неманский геоботанический район. Площадь лесов составляет 518,73 тыс. га, лесистость – 39,7%. Выделяются 2 крупных лесных массива – Гродненская и Липичанская пуши, а также многочисленные компактные участки леса, разбросанные на территории Верхненеманской низины и Лидской равнины. Для данного района характерен переходный характер состава и струк-

туры фитоценозов: от лесов восточноевропейского южнотаежного облика к западноевропейским широколиственным, что проявляется в сокращении доли бореальных еловых (2,8%) при существенном увеличении доли широколиственно-хвойных (26,5%) лесов (см. рис. 6, 12, табл. 2).

В структуре лесного покрова геоботанического района доминируют сосновые боры (36,0%) на дерново-подзолистых песчаных почвах водно-ледниковых равнин. Кустарничково-зеленомошные сосняки формируют крупные массивы по левобережью р. Неман на юго-востоке и правобережью – на северо-западе геоботанического района. Необходимо отметить и относительно высокую долю смешанных широколиственно-елово-сосновых лесов (20,8%). При переходе от Верхненеманской низины на Лидскую и Столбцовскую равнины с более плодородными землями господство лесов заканчивается, лесной покров фрагментируется. Разрозненные участки, которые сохранились на довольно плодородных супесчаных и суглинистых валунных почвах, представлены широколиственно-хвойными лесами и елово-грабовыми дубравами. Лиственные болотные леса (12,3%) размещаются небольшими компактными участками и приурочены как правило к заболоченным поймам рек (см. табл. 2, рис. 12).

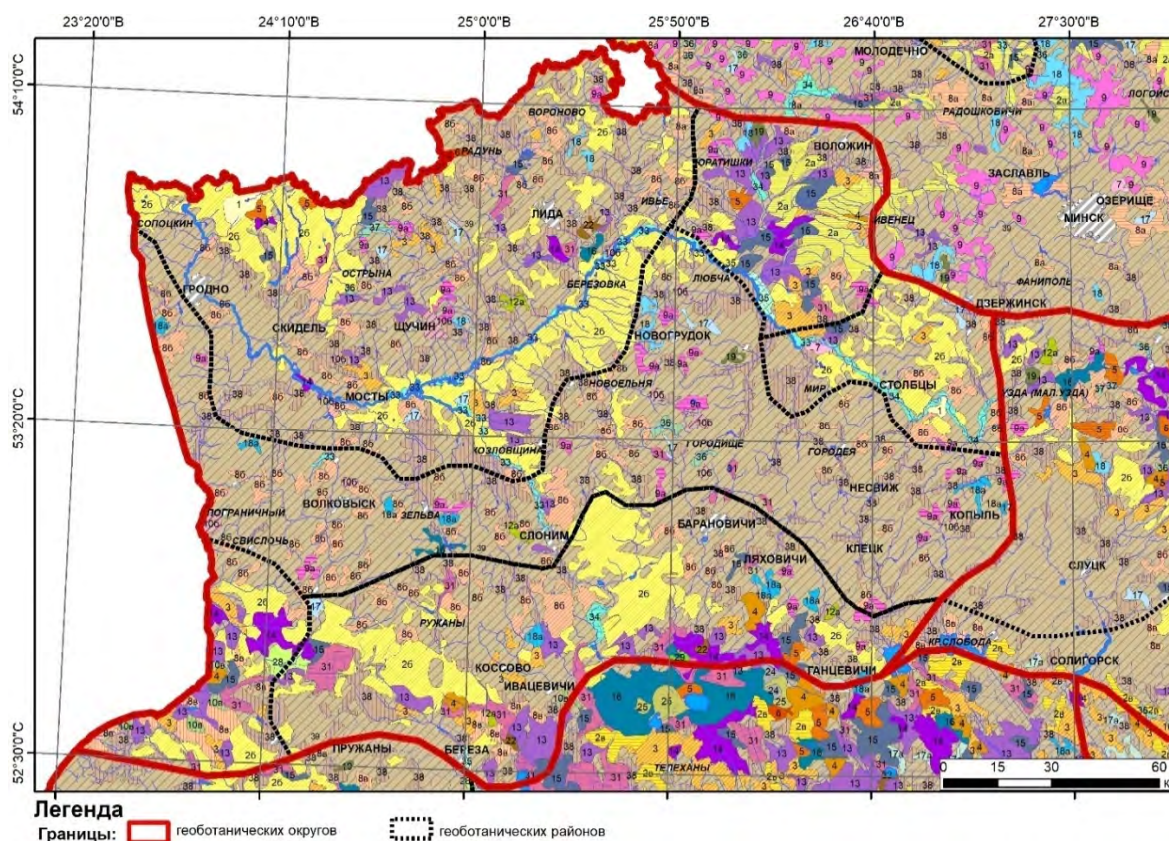


Рис. 12. Карта растительности Неманско-Предполесского геоботанического округа

Fig. 12. Vegetation map of the Neman-Predpolessie geobotanical district

Луга занимают площадь 29,6 тыс. га (5,4%). На долю пойменных лугов в регионе приходится 29%, развивающихся в пойме р. Неман и ее притоков (реки Гавья, Лебеда, Россь, Свислочь, Сула, Уса, Уша, Щара) (см. табл. 2). Пойма р. Неман является краткотопляемой, сложена 3–7-метровым слоем современных песчаных отложений, иногда прикрытых незначительным чехлом из супеси или легкого суглинка и подстилаемых мощной толщей (до 20 м) древнеаллювиальных и флювиогляциальных песков [11]. Заливные луга верхнего и нижнего течения реки имеют свои особенности в зависимости от строения речной долины. Пойма верхней части течения р. Неман имеет вид сплошной, относительно равномерно развитой ленты, шириной 1–1,5 км. Рельеф пониженно-ровный, местами пологоволнистый, слабо расчлененный на уровни. Относительная выровненность заливной террасы, близкое залегание почвенно-грунтовых вод наряду с ослабленным аллювиальным питанием обусловили заболачивание большей части поперечника поймы. Поэтому наибольшее распространение здесь получили сообщества болотистых и сырых лугов (асс. *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*, *Glycerietum maximae*, *Cnidio dubii–Deschampsietum cespitosae*, *Poa palustris–Alopecuretum pratensis*, *Lysimachio vulgaris–Filipenduletum*). На повышенных элементах рельефа распространены сообщества союза CYNOSURION CRISTATI.

Необходимо отметить, что значительная часть поймы верхнего течения р. Неман была подвергнута осушительной мелиорации. Средний отрезок ее поймы (г. п. Любча – г. Мосты) отличается чередованием высоких песчаных грив и заболоченных межгрядных понижений различной конфигурации. Рельеф этой части поймы пестрый и сложный. Притеррасная зона развита меньше, чем на верхнем отрезке, и имеет другие черты. Эти факторы обусловили высокое флористическое и фитоценотическое разнообразие пойменной луговой растительности этого участка поймы. Кроме сырых лугов здесь получили широкое распространение мезофитные (с обилием *Agrostis tenuis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Cynosurus cristatus*, *Festuca rubra*, *Helictotrichon pubescens*) и ксеромезофитные (с преобладанием *Poa angustifolia*, *Agrostis vinealis*, *Carex praecox*, *Calamagrostis epigejos*) сообщества с участками псаммофитных (*Corynephorus canescens*, *Festuca trachyphylla*) и белоусовых пустошей. Нижний отрезок Немана (г. Мосты – г. Гродно) имеет каньонобразный облик, отличается изолированностью отдельных сегментов поймы, слабой оформленностью на отдельных сегментах притеррасной

зоны и крупногрядистостью рельефа [11]. В этой связи пойменные луга на данном отрезке реки не получили широкого распространения.

Налибокский геоботанический район – наиболее крупный лесной массив Неманско-Предполесского округа, охватывающий территорию бассейна правых притоков р. Неман до Ошмянских гряд на севере, подножья Минской возвышенности на востоке и Лидской равнины на западе. Площадь лесов – 149,1 тыс. га, лесистость – 56,3%. Центральная часть района заболочена, здесь доминируют черноольховые и пушистоберезовые леса (26,8%). Северная и восточная части геоботанического района заболочены меньше и здесь преобладают кустарничково-зеленомошные сосновые боры (30,6%), среди которых широко распространены черничные сосняки на дерново-подзолистых оглеенных песчаных почвах (асс. *Molinio caeruleae–Pinetum sylvestris*). Площадь вторичных лесов относительно невелика (11,6%), они расположены в северной части геоботанического района. Территория также отличается от других регионов подзоны минимальным участием формации грабовых лесов [12], а также наибольшей долей зеленомошных ельников (5,2%). Небольшими массивами встречаются низинные болота (1,5%) (см. табл. 2, рис. 6, 12).

На долю лугов приходится 4,3% площади растительности района. Пойменные луга занимают 2,4 тыс. га (35% от всех лугов района), развиваются главным образом в поймах рек Западная Березина и Неман. Отличительной чертой поймы р. Неман в пределах рассматриваемого региона является преобладание болотистых и сырых лугов в верхнем отрезке (до г.п. Любча), настоящих и остепненных – в среднем (см. табл. 2, рис. 12).

Волковыско-Новогрудский геоботанический район – один из наименее лесистых регионов Беларуси: площадь лесов – 228,73 тыс. га, лесистость – 22,9%. В состав района входят небольшие лесные массивы Гродненской, Волковысской, Слонимской и Новогрудской возвышенностей и моренных равнин. В структуре растительного покрова заметен переход от крупных массивов сосновых боров долины Немана к широколиственно-еловым (12,7%) и широколиственно-сосновым (29,5%) лесам на дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах на моренных суглинках. Изредка среди них встречаются сосновые зеленомошные боры и вторичные березняки на более бедных почвах. Крайне редко встречаются сосновые болотные леса (0,1%). Доля широколиственных лесов (10,7%) в 2–3 раза больше по сравнению с другими геоботаническими районами центральной подзоны (см. табл. 2, рис. 6, 12).

Среди лугов наибольшие площади занимают материковые (19,8 тыс. га). На долю заливных лугов приходится всего 0,7%, которые формируются в поймах рек Сервечь, Уша, Ятранка, Молчадь, Щара, Россь и Свислочь. Большие площади лугов сохранились в пойме р. Щара: среди них преобладают мезофитные и гигромезофитные сообщества (см. табл. 2, рис. 12).

Западно-Предполесский геоботанический район объединяет леса восточной части Пружанской и южной части Барановичской равнин, а также окраины Припятского Полесья (Ясельдо-Слущкой низины). Площадь лесов составляет 376,48 тыс. га, лесистость – 49,5% (см. табл. 2, рис. 6). Это самая южная часть переходной полосы сообществ южнотаежного типа к широколиственному. Леса имеют выраженный полесский облик, который сохраняет только отдельные черты темнохвойных лесов [2].

Преобладание водно-ледниковых песков определяет доминирование (около 50,0%) в лесном покрове геоботанического района монодоминантных сосновых кустарничково-зеленомошных боров (асс. *Peucedano oreoselini–Pinetum sylvestris*). За водоразделом рек Неманского и Припятского бассейна начинается заболоченная территория, где участие суходольных сосняков резко снижается и преобладают болотные черноольховые и пушистоберезовые леса (19,0%). Еловые (1,7%) и широколиственно-еловые леса (3,7%) встречаются фрагментарно на моренных повышениях среди болотных лиственных лесов (см. табл. 2, рис. 12).

Болота распространены небольшими массивами (1,6%), значительные площади занимают деградированные торфяники со вторичной растительностью (9,0%) (см. табл. 2, рис. 12).

На долю лугов района приходится 3,8% площади наземной растительности геоботанического района. Пойменные луга занимают небольшую площадь (1,7 тыс. га – 0,4%), сохранились они преимущественно фрагментами в поймах рек Щара, Гривда, Мышанка, Зельвянка, Ясельда. Преобладают мезогигрофитные и гигромезофитные сообщества (см. табл. 2, рис. 12).

Беловежский геоботанический район. Ядром района является национальный парк «Беловежская пуща». Площадь лесов составляет 131,87 тыс. га, лесистость – 71,9% (см. табл. 2, рис. 6). На данной территории широко распространены елово-сосновые и еловые кустарничково-зеленомошные леса южнотаежного облика, широколиственно-еловые леса с *Carpinus betu-*

lus, дубово-грабово-сосновые и широколиственные леса с *Picea abies* и без нее. С одной стороны, здесь встречаются типичные сообщества, характерные для южной тайги, с другой – леса, характерные для Полесского региона. Видовой состав растительных сообществ часто образован различными географическими элементами – бореальными, среднеевропейскими, южносибирскими, субпонтическими, атлантическими. Однако, как справедливо отмечено [13], большинство лесных сообществ Беловежской пущи относится к субконтинентальным или суббореальным «разновидностям», т. е. более сходно с лесами, расположенными далее к северу и востоку (прежде всего, с лесами Центрально-Предполесского, Черческо-Приднепровского, Западно-Предполесского геоботанических районов), а «торфяной ельник», например, здесь является реликтом голоценовой тайги.

В целом лесной покров геоботанического района довольно разнообразен и представлен различными типами хвойных (35,3%) и широколиственно-хвойных (18,8%), широколиственных (5,9%), мелколиственных производных (6,3%) и коренных лиственных болотных лесов (18,7%). Широколиственные леса данного района образуют крупные массивы в центре национального парка «Беловежская пуща» и характеризуются сложной ярусной структурой древостоя. Их разнообразие можно объединить в две группы: дубово-грабовые леса на свежих супесчаных и суглинистых почвах на повышенных элементах рельефа (асс. *Tilio cordatae–Carpinetum betuli*) и смешанные кленово-грабово-черноольховые леса на влажных торфянисто-глееватых почвах, формирующихся в крупных плоских западинах (асс. *Stellario nemorum–Alnetum glutinosae*). Важное значение в ценогическом разнообразии региона имеют лиственные болотные леса, которые часто формируют крупные массивы вдоль водотоков (см. табл. 2, рис. 12).

Доля фитоценозов открытых болот в структуре растительного покрова геоботанического района невелика (4,1%), тем не менее, их роль в поддержании общего гидрологического режима территории весьма значительна. Крупнейший болотный массив на территории – низинное болото Дикое (3,5%), где основной фон на участке низинного болота образуют осоковые ассоциации союза *MAGNOCARICION ELATAE* (асс. *Caricetum elatae*, *Equiseto fluviatilis–Caricetum rostratae*, *Peucedano palustris–Caricetum lasiocarpae*, *Caricetum appropinquatae*) (см. табл. 2, рис. 12).

Березинско-Предполесский геоботанический округ

На территории округа (см. рис. 2) расположены участки среднего течения крупнейших рек

Беларуси – Днепра, Сожа, Березины, Птичи и Друти, выносящих в меридиональном направле-

нии воды южных частей краевых возвышенностей сожского возраста.

Случкая равнина во многом повторяет облик Барановичской, являясь границей между краевыми возвышенностями сожского возраста и бывшего приледникового водоема на территории Полесья. В южной части равнины встречаются моренные гряды. Платообразный рельеф усложняется золовыми и водно-ледниковыми грядами, широкими долинами рек Морочь, Случь, Оресса, Птичь. В округе преобладают довольно плодородные дерново-подзолистые слабogleеватые почвы на лессах, моренных и водно-ледниковых суглинках и супесях, что, в общем, предопределило высокую степень антропогенной трансформации (распаханности) территории.

Пуховичская равнина также характеризуется относительно плоским рельефом, однако здесь особенно заметно расчленение водно-ледниковых равнинных участков ложбинами стока талых ледниковых вод. Рельеф усложняется рядом конечно-моренных гряд. В центральной части равнины расположены крупные заторфованные котловины. Почвенный покров представлен в основном дерново-подзолистыми глееватыми и торфяно-болотными низинными почвами.

Для большей части Бобруйской и Олавской равнин характерен пологоволнистый рельеф с комплексом краевых образований. Характерной чертой данной части округа является близкое залегание донной морены. Широко развиты крупные озерно-аллювиальные формы рельефа, представленные в основном долинами рек Птичь, Свислочь, Березина и Друть шириной до 3 км. Почвы представлены в основном дерново-подзолистыми супесчаными и аллювиальными дерновыми глеевыми на различных типах аллювия.

В междуречье рек Днепр и Сож располагается Чечерская равнина, геоморфологическое строение которой характеризуется чередованием моренных, водно-ледниковых равнин, краевых образований сожского возраста и широких долин рек с наличием первых надпойменных террас. Почвенный покров также довольно сложный – к западу от р. Днепр преобладают дерново-подзолистые эродированные почвы на водно-ледниковых суглинках, к востоку – на водно-ледниковых супесях и песках.

Березинско-Предполесский округ в долгосрочном направлении почти вдвое меньше Неманско-Предполесского округа, что связано с большей степенью континентальностью климата и, соответственно, сужением к востоку полосы распространения сообществ, сочетающих в себе черты таежных и широколиственных лесов [12]. Рассматриваемый округ отличается довольно суще-

ственным участием производных мелколиственных лесов (по геоботаническим районам от 10,4% до 17,0%) и снижением участия широколиственно-хвойных лесов (15,7%–21,6%). В остальном, структура лесного покрова близка к структуре Неманско-Предполесского района (рис. 13, см. табл. 2, рис. 4).

Центрально-Березинский геоботанический район. Площадь лесов составляет 403,72 тыс. га, лесистость – 40,6% (см. табл. 2, рис. 6, 13). Структура лесного покрова неоднородная, условно выделяется 3 лесных массива (Узденский, Пуховичский, Осиповичский), которых объединяет принадлежность их к северной полосе подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов. Такое ботанико-географическое решение связано с равномерным распределением *Picea abies* во всех благоприятных для нее условиях произрастания [2].

Леса, расположенные к северу от Случкой равнины, по фитоценотической структуре наиболее близки к лесам северной подзоны (Березинско-Друтские и Минско-Борисовские леса). Здесь преобладают субори: широколиственно-сосновые и елово-сосновые леса с постоянным присутствием *Carpinus betulus*, *Quercus robur*. Ельники и мелколиственные производные леса встречаются небольшими компактными массивами (см. рис. 13).

В среднем течении р. Птичь (в окрестностях а.г. Пуховичи) лесной массив сильно заболочен: широкое распространение имеют лесные верховые и низинные болота. В окрестностях г. Осиповичи (от впадения р. Свислочи в р. Березину) распространены пылевато-суглинистые и супесчаные почвы, подстилаемые донной мореной, вследствие чего здесь преобладают широколиственно-хвойные и производные от них мелколиственные леса. По заболоченным понижениям распространены черноольховые леса. Сосновые зеленомошные боры сосредоточены по северо-востоку Случкой равнины, вдоль рек Березина, Свислочь и других водотоков, у южного берега Осиповичского водохранилища, где они имеют большое водоохранное и рекреационное значение (см. рис. 13) [2].

Луга на территории района занимают 21,5 тыс. га, из них 15,5% приходится на заливные луга, которые развиваются в основном в поймах рек Березина, Свислочь, Титовка и Птичь. Наибольший вклад вносят пойменные луга р. Березины, которая на данном отрезке является переходным звеном между средним и нижним течением реки. Здесь высока площадь заболоченных лугов и редки ксеромезофитные фитоценозы, что свойственно для среднего течения реки, при широком распространении сообществ асс. *Poa*

palustris–*Alopecuretum pratensis*, что объединяет этот отрезок реки с полесскими ландшафтами (см. табл. 2, рис. 13).

Центрально-Предполесский геоботанический район. Площадь лесов составляет 302,55 тыс. га, лесистость – 52,0%. Бедные песчаные и супесчаные почвы в данном регионе чередуются с заболоченными понижениями и обширными болотами. На западе района отграничены от Центрально-Предполесских лесов безлесной Слуцкой равниной, а на востоке, между реками Оресса и Птичь, смыкаются с ними. В Предполесье преобладают сосновые кустарничково-зеленомошные боры (38,8%), в составе которых постоянны *Quercus robur* и практически не встречается *Picea abies*, из них значительная часть (около 30%) приходится на сосняки черничные и долгомошные. На востоке района, в заболоченной части, компактными массивами размещаются черноольховые и пушистоберезовые леса (15,3%). Площадь еловых и широколиственно-еловых лесов здесь существенно снижается до 4,2% (севернее в Центрально-Березинских лесах – 10,3%), а широколиственных напротив возрастает до 5,5%. Небольшими компактными массивами встречаются производные мелколиственные леса (березняки, осинники). Открытых болот практически не сохранилось (0,1%), компактными массивами в северной ча-

сти геоботанического района размещаются нарушенные торфяники со вторичной растительностью (5,0%) (см. табл. 2, рис. 6, 13).

Доля лугов в структуре растительности наименьшая (3,5%) среди геоботанических районов в Березинско-Предполесского округа. Около ¼ луговых угодий характеризуемого геоботанического района составляют заливные, сохранившиеся в поймах рек Березина, Случь и Припять. Характерной особенностью лугов поймы р. Березина является увеличение доли остепненных лугов и псаммофитных пустошей в их структуре при уменьшении площадей болотистых лугов (см. табл. 2, рис. 13). Пойма р. Птичь в регионе характеризуется заболоченностью притеррасья и части центральной поймы, поэтому здесь широкое распространение получили болотистые луга (асс. *Caricetum vesicariae*, *Caricetum gracilis*, *Carici acutae*–*Glycerietum maximae*).

Чечерско-Приднепровский геоботанический район. Площадь лесов составляет 432,96 тыс. га, лесистость – 41,5%. Вдоль рек Днепр и Сож почти на всем протяжении господствуют сосновые боры (27,4%), ельники вкраплены мелкими фрагментами (1,1%). В окрестностях г. Жлобина, к востоку от р. Днепр на плодородных почвах на лёссовидных суглинках сохранились небольшие участки дубрав (4,5%) (см. табл. 2, рис. 6, 13).

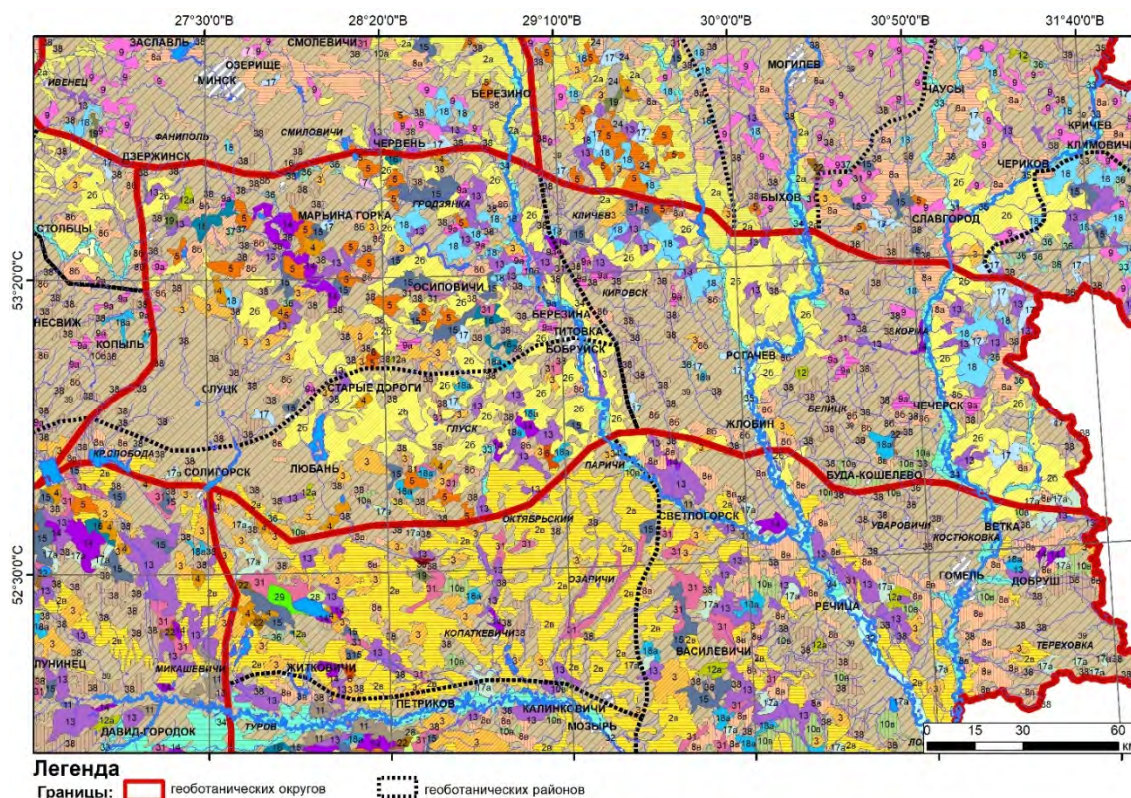


Рис. 13. Карта растительности Березинско-Предполесского геоботанического округа

Fig. 13. Vegetation map of the Berezina-Predpolessie geobotanical district

Сложная формационно-типологическая мозаика лесов отмечается в северо-восточной части геоботанического района (по линии г. Кличев – г. Кировск). Здесь основной фон покрова формируют сосновые боры и суборы, производные березняки с вкраплениями ельников и болотных черноольшаников. В восточной части района, по левому берегу р. Сож (между притоками рек Кляпинка, Покоть, Колпита) леса имеют сложную структуру. Сосновые и елово-сосновые леса чередуются с крупными массивами производных березняков, узкими полосами черноольшаников и ельников, расположенных вдоль водотоков, компактными массивами дубрав. В данном районе уже крайне редко встречаются леса с преобладанием *Carpinus betulus*, а его участие в составе широколиственных и широколиственно-хвойных лесов минимально. Фрагментарно встречаются верховые сосново-пушицево-сфагновые болота (0,2%) (см. табл. 2, рис. 13).

Доля лугов в сложении растительности района является наибольшей (9,7%) в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов. Более половины (52%) занимают пойменные луга таких крупных рек как Днепр, Друть, Сож и Беседь.

III. Подзона широколиственно-сосновых лесов (южная)

Площадь лесной растительности в границах геоботанической подзоны широколиственно-сосновых лесов составляет 2,77 млн га (лесистость – 46,9%). В Полесской низменности значительную долю составляют торфяно-болотные и относительно широко распространены древне-аллювиальные песчаные почвы, которые встречаются редко в центральной части страны. В связи с этим здесь широко распространены олиготрофные сосновые боры вересковой, мшистой и черничной серий (27,3%), а также болотные леса (20,5%) леса. Еловые (0,3%) и широколиственно-еловые (0,4%) леса встречаются фрагментарно, приурочены к водотокам или окраинам болот. Доля широколиственных лесов на территории Беларуси здесь наибольшая (6,5%), среди которых доминируют плакорные дубравы (4,0%). Значительную роль в структуре лесов имеют широколиственно-сосновые неморально-травяные леса (10,4%). Доля вторичных производных лесов небольшая (9,4%), однако участие кустарниковой растительности, развивающейся, как правило, на торфяно-болотных почвах наиболее высокая среди всех геоботанических подзон (143,1 тыс. га – 4,1%) (см. табл. 1, рис. 8В).

Уменьшение доли *Picea abies* и появление *Quercus robur* в составе древостоя и подроста при продвижении к югу страны отражается и на

Длительная поемность р. Днепр и интенсивное отложение преимущественно суглинистого аллювия создали условия для широкого развития сообществ асс. *Poa palustris*–*Alopecuretum pratensis*, *Galio physocarp*–*Alopecuretum pratensis*, *Symphyto officinalis*–*Thalictrum flavi*, занимающих средний уровень поймы. Для высокого уровня поймы Днепра характерны ценозы асс. *Poetum angustifoliae* и *Carici praecocis*–*Alopecuretum pratensis*. Средненизкий и низкий уровни – подножия грив, неглубокие межгрядные понижения и днища глубоких межгрядных понижений – занимают сообщества асс. *Caricetum vulpinae*, *Eleocharitetum palustris*, *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*, *Glycerietum maximae*. Пойма р. Сож в данном геоботаническом районе по своей геоморфологии схожа с поймой р. Днепр, также широко распространены на среднем уровне гигромезофитные сообщества с преобладанием *Alopecurus pratensis*, *Poa palustris*, *Beckmannia eruciformis*, на высоком – формируются ценозы с высоким обилием *Agrostis vinealis*, *Poa angustifolia*, *Carex praecox*, *Festuca trachyphylla*, *F. duvalii* (см. табл. 2, рис. 13).

составе нижних ярусов растительности в олиготрофных сосновых и мелколиственных лесах. Обычными в подлеске становятся *Chamaecytisus ruthenicus*, *Genista tinctoria*, увеличивается постоянство и обилие термофильных видов – *Agrostis tenuis*, *Dryopteris carthusiana*, *Hieracium pilosella*, *Polygonatum odoratum*, *Pteridium aquilinum* s.l., *Scorzonera humulis*, *Veronica officinalis*. Моховой ярус становится более разреженным, а в мезофитных условиях с присутствием *Carpinus betulus* – не выражен.

Болота на территории южной подзоны исторически занимали большие площади, часто были представлены в виде систем, имеющих сложную конфигурацию. Во второй половине XX в. в регионе прошла крупномасштабная мелиорация. В настоящее время общая площадь болот и нарушенных торфяников в пределах характеризуемой территории составляет 1,98 млн га (31,9%), в т.ч. (см. табл. 1, 2, рис. 5):

- сосновые и пушисто-березово-сосновые леса на верховых болотах (асс. *Vaccinio uliginosi*–*Pinetum sylvestris*, *Sphagno*–*Pinetum sylvestris*, *Thelypterido palustris*–*Pinetum sylvestris*) – 89 тыс. га – 2,6%;

- пушистоберезовые и черноольховые леса на мезо- и эвтрофных болотах (союз ALNION GLUTINOSAE) – 602,2 тыс. га или 17,4%;

– открытые (нелесные) болота – 196,6 тыс. га (5,7%), в т.ч. олиготрофные (класс **OXYCOCCO-SPHAGNETEA**) – 46,2 тыс. га – 1,3%), мезотрофные (союз **SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS**) – 46,5 тыс. га – 1,3%) и эвтрофные (союзы **SPHAGNO WARNSTORFII-TOMENTYNIION NITENTIS**, **CARICION DAVALLIANAE**, класс **PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA**) – 103,9 тыс. га – 3,0%);

– нарушенные торфяники – 331,5 тыс. га (9,6%);

– ивняковые (союз **SALICION CINEREAЕ**) – 125,4 тыс. га (3,6%).

Наиболее крупные массивы верхового типа южной геоботанической подзоны (Межч, Кандель-Яловец-Ольхово) – сформировались в староречье: вдоль р. Припять наблюдаются параллельные ей долины, заполненные торфом и сильно вытянутые вдоль речного русла, иногда до 20–25 км при ширине до 6–8 км (см. рис. 4).

Особенность верховых торфяников Полесья заключается в том, что они в основном подстилаются большей или меньшей толщей низинных торфов, на контакте с которыми отложилась толща пушицевых торфов с повышенной степенью разложения. Встречаются также верховые болота и с мощной толщей комплексно-верхового торфа, который откладывается в условиях очень высокой степени обводнения. Если торфяник развивался при избыточном увлажнении, на контакте низинной и верховой частями залежи отсутствуют пушицевые торфы и переход от низинных к верховым совершается не через пушицевый, а через шейхцериево-переходный торф, откладывающийся в условиях избыточно увлажненной среды. В таких условиях сверху лежащие верховые торфы имеют низкую степень разложения.

Облик верховых болот полесского региона формируют сосново-кустарничково-сфагновые леса и сосновые редколесья, которые занимают 25–80% площади исследованных болот. По сравнению с более северными болотами грядово-мочажинные комплексы на болотных массивах этого типа не занимают больших площадей (5–45%) и расположены они в центральной части на склонах.

Мочажины встречаются и на вершине болотных массивов, образуя комплекс с сосново-кустарничково-сфагновыми и сосново-кустарничково-пушицево-сфагновыми (*Sphagnum divinum*) сообществами, покрывающими все пространство между мочажинами и характерными для гряд. В мочажинах расположены пушицево-сфагновые и очеретниково-сфагновые сообщества со *Sph. cuspidatum*. Для болот этого типа характерны широкие полосы эвтрофных сообществ, составляющих окраину болотных массивов (см. рис. 4).

На территории Полесья встречаются болота так называемого «балтийского типа» [14], где на открытом центре доминирует *Sph. fuscum*, с грядово-мочажинными комплексами на склонах, осоково-сфагновый и осоковый краевые пояса (болото Морочно, окрестности г. Столин).

Мезотрофные болота в регионе описаны преимущественно в Пинско-Припятском (Выгонощанское болото, к востоку от г. Ивацевичи, а также в границах республиканского заказника «Ольманские болота»). Среди лесных сообществ на мезотрофных болотах характеризуемой подзоны преобладают березово-сосновые и березовые кустарничково-осоково-сфагновые леса. Для нелесных переходных болот характерна ровная поверхность. Она образована почти исключительно осоково-сфагновыми сообществами с преобладанием *Carex lasiocarpa* или *C. rostrata*, с моnodоминантным сфагновым покровом с господством одного из 3 видов – *Sphagnum fallax*, *Sph. papillosum*, *Sph. obtusum*. Для болот с кочковатым микрорельефом характерна комплексность растительного покрова.

В центральной части Белорусского Полесья (Пинско-Припятский, Припятско-Мозырский геоботанические районы) сохранились осоково-гипновые болота. Болота этого типа имеют ровную, почти плоскую поверхность, иногда слегка наклоненную к реке. Торфяные залежи в среднем от 1 до 3 м, но мощность их значительно колеблется. Залежи низинного типа, преобладают тростниковые, осоково-тростниковые, осоково-гипновые и многослойные топяные [15]. В строении торфяных залежей низинного типа наблюдается определенная схема, характерная для болот Полесья: внизу придонный слой торфа тростниково-осоковый, реже у дна залегает тростниковый, а в окрайковой части массива, у мест выхода грунтовых вод – древесно-тростниковый и даже лесной; сверху, в центральной части массива, они, как правило, прикрыты слоем осокового торфа.

Наиболее широко на травяных болотах Полесья представлены осоковые фитоценозы с господством *Carex elata*. Они особенно характерны для сильно обводненных территорий, где осоковые кочки достигают высоты 60 см, а сами растения – 1 м. При слабом обводнении высота кочек не превышает 10–15 см. Покров травостоя колеблется от 50 до 90%. Травостой неравномерный по сложению. Помимо *C. elata* на кочках растут *Poa palustris*, *Agrostis stolonifera*, *Calamagrostis canescens*, *Lycopus europaeus*, *Lythrum salicaria*, *Lysimachia vulgaris*, в межкочьях – *Caltha palustris*, *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Iris pseudacorus*, *Equisetum fluviatile*. При

незначительном обводнении перечисленные виды разнотравья растут и в межкочьях, при сильном обводнении они замещаются водно-болотными видами (*Phragmites australis*, *Hottonia palustris*, *Alisma plantago-aquatica*, *Glyceria maxima*). Мхи представлены очень слабо. Кочкарные осочки с господством *C. appropinquata*, так же, как и с *C. cespitosa*, распространены значительно меньше. Широко развиты также фитоценозы с господством осок, не образующих кочек (*C. acuta*, *C. rostrata*, *C. lasiocarpa*, *C. vesicaria*).

Травостой их также отличается значительной густотой и высотой. С увеличением обводненности в нем преобладают водно-болотные виды, с уменьшением – лугово-болотные. Широко распространены и осоково-гипновые сообщества, которые приурочены к местообитаниям с сильным обводнением, но слабой проточностью. Основными компонентами их являются корневищные осоки (*Carex rostrata*, реже *C. diandra*, *C. lasiocarpa*).

Встречаются и сообщества с господством мелких осок (*Carex limosa*, *C. chordorrhiza*). Значительное участие принимают злаки, пушицы и виды болотного разнотравья. В моховом покрове преобладают *Drepanocladus vernicosus*, *D. aduncus*, *Calliergon giganteum*, *Calliergonella cuspidata*.

Небольшие площади занимают осоково-сфагновые фитоценозы с эвтрофными видами сфагновых мхов. Среди сообществ, очень редких в Западном Полесье, следует отметить ценозы ассоциаций с участием *Carex davalliana*, которые встречаются в местообитаниях богатых кальцием (болото Званец, Бугско-Припятский геоботанический район).

В связи с осушением роль злаков и лугово-болотного разнотравья в различных фитоценозах усиливается и на травяных болотах Полесья нередко встречаются злаково-осоковые и злаковые фитоценозы с господством *Calamagrostis ne-*

glecta, *Agrostis stolonifera*. В настоящее время эти болота подвержены активному зарастанию древесно-кустарниковой растительностью и на их месте формируются кустарниковые и лесные эвтрофные болота. Из лесных эвтрофных болот доминируют черноольшанники.

В заливаемых долинах р. Припять и ее притоков (р. Стоход и др.) нередко встречаются влажно-высокотравные травяные болота. Болота этого типа распространены повсеместно, однако они не образуют крупных массивов Сообщества имеют довольно простую структуру. Для них характерен один, но довольно густой ярус *Phragmites australis* и (или) *Typha latifolia*, высотой 1,5–2,5 м.

Около четверти всех естественных лугов Беларуси (159,2 тыс. га) располагается в Полесье, из них 46,4% приходится на пойменные. Заливных лугов на территории характеризуемой подзоны, в 3,7 раза больше, чем суходольных. Наибольшие площади пойменных луговых угодий располагаются в бассейнах рек Днепр, Припять и Сож, среди них преобладают настоящие и болотистые луга. Отличительной чертой пойменных лугов южной подзоны является широкое распространение ксеромезофитных мелкотравно-злаковых сообществ союза **GALIETALION VERI** – в 2 раза больше, чем в северной и центральной подзонах. Пойма р. Припять в верхнем течении, а также поймы ее притоков заболочены. В среднем и нижнем течении (от г. Турова до устья) поймы р. Припять минеральная, здесь развиваются остепненные луга. Исключение составляет пойма правобережного притока – р. Горынь (имеющая карбонатный наилот, приносимый с Вольно-Подольского плато) [5], где развиваются преимущественно мезофитные луга пор. **ARRHENTHERETALIA ELATIORIS** (см. табл. 1, 2, рис. 8B).

В состав геоботанической подзоны входят 2 округа и 6 районов (см. рис. 1).

Бугско-Полесский геоботанический округ

Природные условия округа довольно разнообразны, сменяясь в широтном направлении. К основным факторам формирования растительного покрова здесь стоит отнести следующие: монотонный плоский рельеф, в результате чего немногочисленные крупные реки формируют крупные поймы, дренируя расположенные вдоль них болотные массивы; широкое распространение мощных водно-ледниковых песчаных почв; масштабные работы по мелиорации, приведшие к трансформации болотных экосистем, изменению гидрологического режима территории и развитию эоловых процессов.

Северная часть Высоковской равнины представляет собой пологоволнистые отроги краевых

ледниковых возвышенностей сожского возраста со встречающимися камами и озами. На них сформированы дерново-подзолистые почвы на моренных и водно-ледниковых песках. К югу расположены более низкие участки долины, канализированной р. Мухавец, в верхнем течении которой распространены торфяно-болотные низинные почвы со сменой вблизи г. Кобрин на дерновые глеевые почвы.

Южнее Высоковской равнины размещаются крупные массивы песчаных почв Малоритской равнины. Важным моментом является распространение карбонатных пород под отложениями антропогенного чехла, что предопределило развитие эрозионных процессов. Участками встре-

чаются выходы отложений днепровского возраста в виде холмисто-грядовых форм рельефа. Основная часть равнины занята водно-ледниковой равниной, понижающейся от центра к северо-востоку в междуречье Пины и Мухавца и на запад – к долине р. Западный Буг. Важной особенностью является активное развитие эоловых процессов ввиду обилия незакрепленных песков по всей территории.

Центральную часть округа занимает равнина Загородье, являющейся своеобразным островным остатком моренных возвышенностей днепровского возраста. Рельеф на ней в основном представлен холмисто-грядовыми расчлененными комплексами. Между напорными грядами размещены заторфованные понижения ложбин стока ледниковых вод. Гравитационные процессы постепенно упрощают рельеф равнины, в результате чего образуются шлейфы склонового материала в днищах ложбин. В южной части возвышения обычно представлены перевиваемыми дюнными образованиями.

Восточная часть округа характеризуется активными процессами болотообразования в условиях доминирования плоских отрицательных форм рельефа.

В пределах Ясельдинско-Слуцкой низины рельеф более неоднородный, представлен чередованием заболоченных низменностей и моренно-водно-ледниковых равнин с иногда встречающимися краевыми ледниковыми образованиями. Фоновыми аккумулятивными поверхностями выступают озерно-аллювиальные низменности.

Среднюю часть низины занимают растянувшиеся от равнины Загородье до Белорусской гряды участки возвышенных образований днепровского возраста. В долинах между ними в восточном и юго-восточном направлении протекают реки Бобрин, Цна, Ясельда, проложена сеть каналов, крупнейшим из которых является Огинский. В восточной и центральной части низины широко распространены остаточные озера посреди крупных заболоченных массивов.

Восточная часть низины до долины р. Случь представляет собой монотонные озерно-болотные и пойменные массивы, иногда усложняющиеся моренными всхолмлениями днепровского возраста и эоловыми комплексами. Почвы в основной массе торфяно-болотные низинные и дерново-подзолистые глеевые на песках.

На юго-востоке округа располагается Средне-припятская низина, рельеф которой довольно выровненный, слабопересеченный с уклоном в сторону долины р. Припять. В основной массе аллювиальная низина сильно заболочена и подвергнута гидротехнической мелиорации. Сама

пойма р. Припять здесь достигает 15–16 км – максимальной ширины на всем протяжении течения в границах Беларуси. Положительные элементы рельефа вдоль реки представлены древне-аллювиальными песками. В центральной части к югу от р. Припять размещаются платообразные водно-ледниковые возвышения с грядами днепровского возраста. Юго-восточная часть низины в пределах округа представлена крупными массивами верховых и переходных болот.

В составе Бугско-Полесского геоботанического округа выделено 2 геоботанических района (рис. 14).

Бугско-Припятский геоботанический район. Площадь лесов – 403,09 тыс. га, лесистость – 33,9%. Территория геоботанического района приурочена к возвышающимся относительно смежным равнинам (Высоковская, Малоритская, Загородье), где преобладают сосновые кустарничково-зеленомошные леса: на более возвышенных участках – сосняки мшистые (асс. *Peucedano oreoselinii–Pinetum sylvestris*), в понижениях – боры черничные (асс. *Molinio caeruleae–Pinetum sylvestris*). Широколиственные леса, среди которых высокая доля грабняков центрально-европейского типа (асс. *Tilio cordatae–Carpinetum betuli*), занимают отдельные участки плодородных супесчаных и суглинистых почв (5,2%). Еловых лесов, как в Беловежской пуще, уже нет, но островные местонахождения довольно многочисленны (0,3%) (см. табл. 2, рис. 6, 14).

Заторфованность в пределах геоботанического района колеблется от 1–2 до 17%. Болота имеют довольно мощный торфяной пласт. Верховой торф встречается редко, он начал образовываться относительно недавно на большой толще низинных залежей. В строении торфяников в Западном Полесье наблюдается довольно четкая стратиграфическая схема: в придонном слое и в окрайковой полосе торфяник сложен обычно березовым или древесно-тростниковым торфом мощностью около 1 м, сверху прикрыт осоковым или осоково-гипновым. В наиболее углубленных впадинах дна торфяники подстилаются озерным мергелем или гипновым торфом небольшой мощности. Весьма существенную роль в их водно-минеральном питании играют грунтовые напорные воды [15].

Бугско-Припятский водораздел занимают довольно крупные лесные низинные болота (13,1%), среди которых доминируют черноольшанники. Болотные сосняки (сфагнового и осоково-сфагнового типов) встречаются фрагментарно (0,3%). Среди нелесных болот наиболее крупное – болото Званец, ядром которого являются осоковые сообщества (с доминированием

Carex elata), в настоящее время находящиеся в фазе активной динамики в связи с разрастанием *Phragmites australis* и древесно-кустарниковой растительности (см. табл. 2, рис. 14).

Сохранившиеся луга занимают небольшие площади. Здесь широко распространены низинные луга (16,4 тыс. га), где формируются разнотравно-злаковые, ситниковые и разнотравно-осоковые сообщества с высоким обилием *Deschampsia cespitosa*, *Molinia coerulea*, *Juncus conglomeratus*, *J. effusus*, *Carex nigra*. Заливные луга сохранились фрагментарно лишь в пойме р. Буг (см. табл. 2, рис. 14).

Пинско-Припятский геоботанический район. Территория Пинско-Припятского геоботанического района характеризуется равнинностью рельефа (с неглубокими впадинами, выстланных флювиогляциальными песками), слабым уклоном поверхности и высоким уровнем стояния грунтовых вод, что при благоприятных климатических условиях (относительно большое количество осадков и высокие температуры) ведет к развитию болотообразовательных процессов и торфонакоплению, формированию болотной растительности. В результате такого сочетания образовались громадные заболочен-

ные пространства, часто с незначительной толщиной торфяных отложений. В целом доля растительности болот и заболоченных местообитаний в пределах Пинско-Припятского геоботанического района 42% (см. табл. 2).

Леса занимают площадь 639,25 тыс. га, лесистость – 44,2% (см. табл. 2, рис. 3, 10). Характерной особенностью является доминирование пушистоберезовых и черноольховых лесов на низинных болотах (23%). Сплошной полосой черноольшаники окаймляют заболоченные долины рек Лань, Льва, Стырь, занимают правобережную пойму р. Припять. Пушистоберезовые леса образуют небольшие массивы в северной части района (окрестности оз. Выгоновское), где сочетаются с ольсами, сосновыми борами и субориями на водно-ледниковых песках, а также открытыми болотами. Постоянно среди черноольховых лесов встречаются дубравы. Болотные сосняки занимают 3,4% площади, что существенно выше, чем в среднем в Полесье. Вдоль восточной границы геоботанического района (по правому берегу р. Случь) размещается компактный массив сосняков кустарничково-зеленомошных, сменяемых в нижнем течении реки крупным массивом пойменных дубрав.

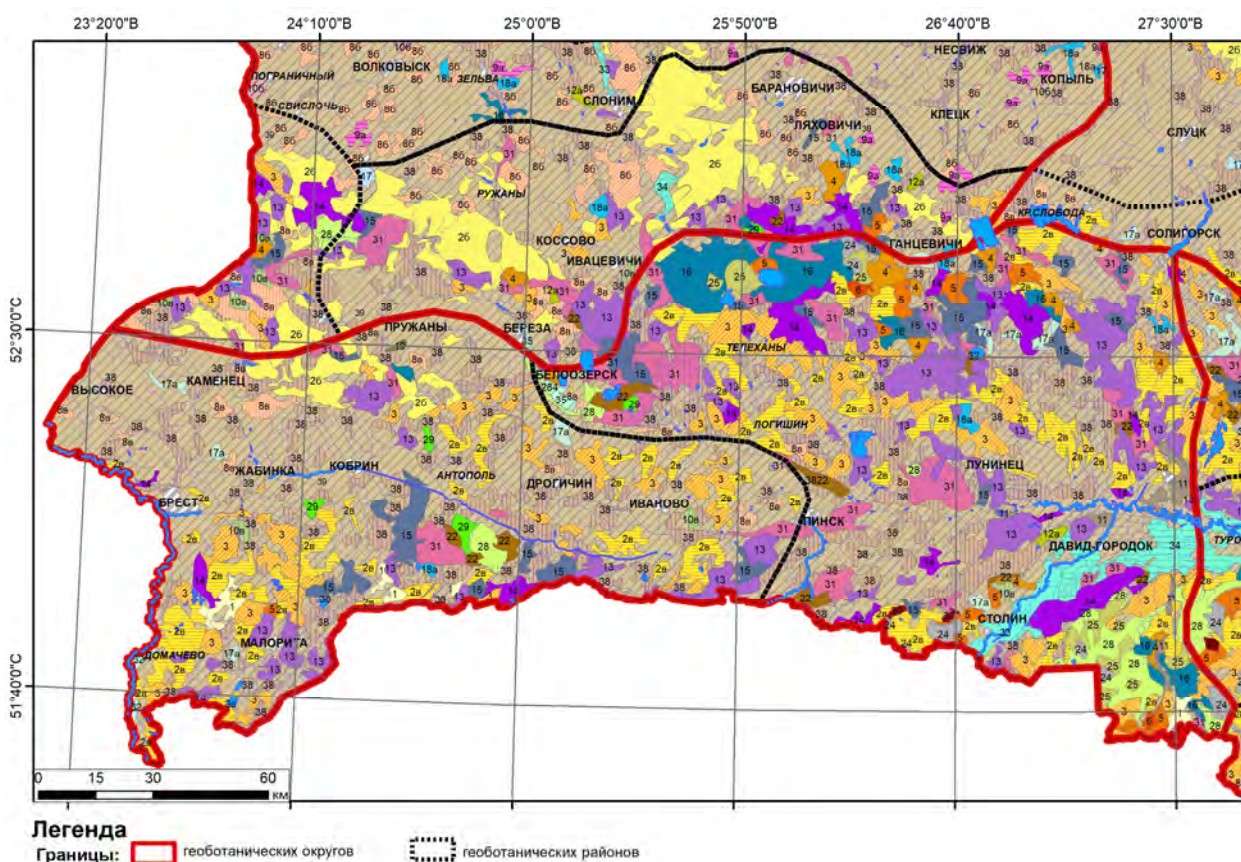


Рис. 14. Карта растительности Бугско-Полесского округа геоботанического округа

Fig. 14. Vegetation map of the Bug-Polesie geobotanical district

Среди открытых болот преобладают фитоценозы низинных (5,1%) и переходных (5,0%) болот, сложенные чаще всего осоковым, тростниково-осоковым, древесно-осоковым или древесно-тростниковым, реже лесным торфом [15]. Верховые болота встречаются на незначительной площади (2,3%), в понижениях среди песчаных бугров с мощностью торфяного пласта около 2 м, сложенного внизу толщей сосново-пушицевого торфа, прикрытого пушицево-сфагновым с остатками сосны. Для болот региона характерно обычно богатое грунтовое питание. Крупный комплекс открытых и слабооблесенных болот сформировался в юго-восточной части геоботанического района, составляющего ядро республиканского заказника «Ольманские болота» (см. табл. 2, рис. 14).

Луга занимают 39,5 тыс. га, среди которых 40% приходится на заливные, формирующиеся в поймах р. Припять и ее притоков (рр. Горынь, Льва, Ствига, Стырь). Пойма р. Припяти относится к категории долгопоемных, но с ослабленным аллювиальным питанием, что находит отражение в характере луговой растительности. Пре-

обладающие в пойме р. Припять болотистые луга (асс. *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*, *Glycerietum maximae*) встречаются преимущественно на востоке геоботанического района, который отличается более выраженным рельефом пойменной террасы. Наибольший интерес представляют пойменные луга р. Горынь, которые отличаются от других полесских рек. Благодаря наличию слоя мергеля на повышенных гривах надпойменных террас и пылевато-суглинистых прослоек на гривах поймы широкое распространение получили луговые сообщества, требовательные к почвенно-грунтовым условиям. На этой территории преобладают мезофитные злаковые сообщества с высоким обилием *Festuca pratensis*, *F. rubra*, *Poa pratensis*, а также мезогигрофитные ценозы с преобладанием *Agrostis gigantea*, *Alopecurus pratensis*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa palustris*, *P. trivialis*. Ксеромезофитные мелкотравно-злаковые луга союза **GALIETALION VERI**, а также мезофитные мелкотравно-злаковые сообщества союза **CYNOSURION CRISTATI** встречаются фрагментарно и больших площадей не занимают (см. табл. 2, рис. 14).

Полесско-Приднепровский геоботанический округ

Облик растительности округа сформирован под влиянием высокого разнообразия природных условий. Здесь нет ярко выраженных доминирующих типов рельефа и почв на всем пространстве, несмотря на отсутствие прямого физического воздействия двух последних оледенений. Это обусловлено непрерывной геологической деятельностью ряда крупнейших рек страны – Припяти и Днепра, а также высокой степенью сохранности конечно-моренных гряд днепровского оледенения, являющихся барьерами как для стока воды и развития процессов болотообразования, так и причиной различий климатических условий в пределах округа. Граничное положение между широкими долинами рек и возвышенностями занимают водно-ледниковые равнины с водно-ледниковыми песчаными почвами.

Природные условия Среднеприпятской низины в пределах Полесско-Приднепровского округа несколько отличаются от основной части, относящейся к Бугско-Полесскому округу – здесь пойма Припяти сужается до 5–6 км, окружая себя крупными террасовыми уступами водно-ледникового происхождения. Интересно отметить, что к югу от них размещается вытянутый параллельно течению реки массив верховых и переходных болот шириной до 10 км, повторяющий долину стока талых вод крупного приледникового водоема на территории Полесья. Похожая особенность наблюдается в пределах Комаринской низины, где в её центральной части к северу

от течения р. Припять имеется множество бывших рукавов временных водотоков.

Юго-восточная окраина Ясельдинско-Слущкой низины, расположенная к северу Среднеприпятской низины, представляет собой водно-ледниковую низину, формирование которой обусловлено неравномерной первичной водно-ледниковой аккумуляцией и эоловой деятельностью. На ней развиты грядово-бугристые массивы с развеваемыми песками.

На востоке от низины получили распространение приподнятые участки Копаткевичской равнины. Рельеф на ней в основном пологоволнистый с узкими заболоченными речными долинами и котловинами выдувания. В северо-западной и юго-восточной частях выделяются краевые ледниковые образования. Между ними расположена крупная заторфованная ложбина. Почвы в основном дерново-подзолистые песчаные и торфяно-болотные низинные.

К юго-востоку от Среднеприпятской низины располагается разнородная Мозырско-Лельчицкая равнина, являющаяся северным отрогом Словечанско-Овручского кряжа. В ее пределах находятся крупные водно-ледниковые платообразные участки со слабоогнутыми понижениями и эоловыми грядами, озерно-аллювиальные низины рек Желонь, Словечна и Уборть, а также краевая водно-ледниковая Мозырская гряда днепровского возраста в районе Мозыря. Последняя является причиной сужения поймы р. Припять

вплоть до 0,7 км. В пределах краевых возвышенностей активны гравитационные процессы и образование овражно-балочной сети. Почвы на таких участках дерново-подзолистые на моренных и водно-ледниковых супесях, подстилаемых моренными суглинками или песками. В остальной части в основном развитие получили дерново-подзолистые глееватые и глеевые почвы на водно-ледниковых песках и супесях.

Продолжением Мозырских гряд является Хойникско-Брагинская равнина, представленная более диффузным распространением конечно-моренных возвышенностей на фоне водно-ледниковых отложений. Почвы на равнине дерново-подзолистые, местами эродированные, на лёссовидных суглинках, подстилаемых моренными суглинками. Они отличаются высоким плодородием, что послужило активному развитию сельскохозяйственной деятельности в регионе. В районе г.п. Брагин встречаются участки почв с высоким содержанием карбонатов.

Будучи своеобразным барьером, Хойникско-Брагинская равнина разделяет Комаринскую и Василевичскую низины. Первая имеет довольно интересное географическое положение, облик которой определяется чередованием крупных участков мелиорированных низинных болот и водно-ледниковых песчаных гряд. В ее пределах формируется своеобразная плоская ложбина стока вод с Лельчицко-Мозырской и Хойникско-Брагинской равнин, относящихся к бассейнам рек Припяти и Днепра. Немаловажны особенности климата низины в контексте страны – здесь формирование растительности происходит под влиянием наибольшего дефицита осадков, что при условии крайней бедности почв обусловило низкие темпы облесения оставленных человеком радиационно-загрязненных территорий.

Василевичская низина представляет собой в основном пологоволнистую территорию, зажатую по краям водоразделами рек Припять и Днепр. В ее пределах основное распространение получили низинные болота, являющиеся истоками ряда рек со слабовыраженными долинами. По краям низина условно «зажата» возвышенными водно-ледниковыми и моренными возвышениями, являющихся водоразделами рек Припяти с Березиной и Днепром. Почвенный покров характеризуется преобладанием дерново-подзолистых песчаных, торфяно-болотных низинных и наличием фрагментов дерновых глееватых и глеевых супесчаных почв.

К востоку от Василевичской низины расположена Речицко-Сожская низина, характеризующаяся высоким разнообразием природных условий. Современный рельеф формируется в резуль-

тате деятельности рек Беседь, Днепр, Ипуть и Сож, в местах слияния которых формируются широкие долины. Здесь основное распространение получили аллювиальные песчаные и супесчаные почвы. Территория ограничена со всех сторон приподнятыми водно-ледниковыми, а местами и моренными равнинами, где преобладают дерново-подзолистые песчаные почвы с фрагментами глееватых и глеевых на моренных и лёссовидных суглинках, водно-ледниковых супесях.

В составе Полесско-Приднепровского геоботанического округа выделено 4 района (рис. 15).

Центрально-Полесский геоботанический район. Площадь лесов – 477,28 тыс. га, лесистость – 62,8%. Широкое распространение дерново-подзолистых песчаных почв различной степени увлажнения обусловило преобладание сосновых лесов (43,1%), из которых наибольшую долю составляют кустарничково-зеленомошные сосняки. Наиболее крупные массивы расположены к востоку от оз. Червоное, в окрестностях г. Житковичи, г.п. Октябрьский, г.п. Озаричи, г.п. Копаткевичи. На правом берегу р. Припять, в районе г. Туров – г. Мозырь – г. Ельск размещаются небольшие массивы чернично-зеленомошных боров и суборей. Лиственные болотные леса занимают довольно большую площадь (15,7%) и образуют компактные лесные массивы в поймах рек Бобрик, Вить, Ипа, Птичь. Еловые и широколиственно-еловые (1,1%) фрагментарными участками сосредоточены у северной границы сплошного распространения *Picea abies*. Доля широколиственных лесов (5,4%) существенно ниже, чем в среднем по геоботаническому округу (7,8%). Производные мелколиственные леса, среди которых преобладают березняки, встречаются небольшими массивами (9,7%) (см. табл. 2, рис. 6, 15).

Открытые низинные болота занимают небольшие площади (1,4%) в западном секторе геоботанического района. Относительно большие площади (8,5%) в регионе занимает производная растительность, формирующаяся на антропогенно деградированных торфяников (преимущественно низинного типа). Площадь лугов наименьшая в округе (9,1 тыс. га), среди которых преобладают низинные (см. табл. 2, рис. 15).

Припятско-Мозырский геоботанический район. Площадь лесов составляет 411,1 тыс. га, лесистость – 61,2%. Отличаются относительно широким распространением пойменных дубрав, которые узкой полосой примыкают к пойме р. Припять в северной части района. В старицах и в заторфованных понижениях вдоль реки небольшими компактными массивами встречаются черноольшаники. Центральную

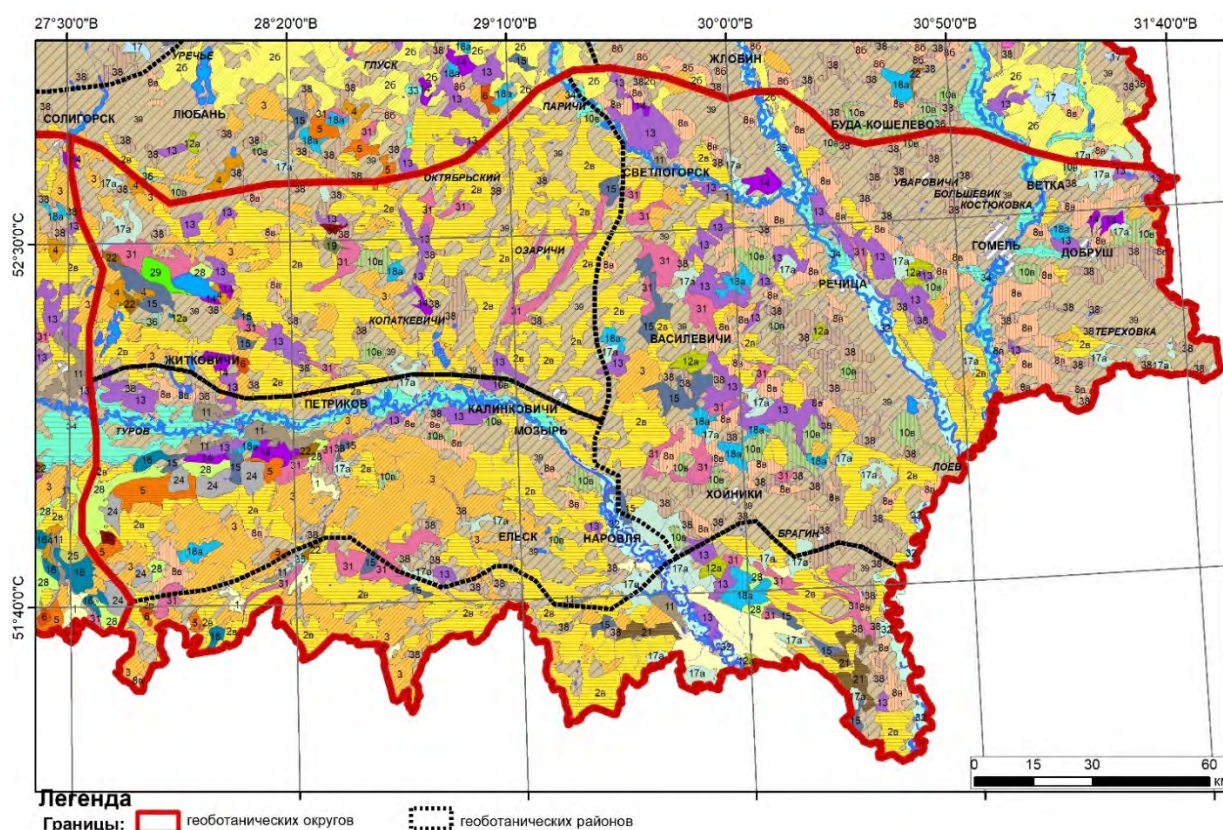


Рис. 15. Карта растительности Полесско-Приднепровского геоботанического округа

Fig. 15. Vegetation map of the Polesie-Dnieper geobotanical district

часть геоботанического района занимают сосняки черничные с *Quercus robur* в подросте на довольно богатых дерново-подзолистых моренных и водно-ледниковых супесях, подстилаемых мореной. В южной части района доминируют сухие боры вересково-бруснично-зеленомошные. Относительно крупными массивами встречаются олиго- и мезотрофные болотные сосняки (7,5%), а также вторичные мелколиственные (8,0%) леса. Еловые и широколиственно-еловые встречаются фрагментарно (0,2%) (см. табл. 2, рис. 6, 15).

В отличие от других районов Полесья здесь имеется значительное количество нелесных верховых болот (4,5%), занимающих иногда до нескольких десятков тысяч гектаров, например, Топиловское, Кандель-Яловец [15]. Их образование в этом районе, очевидно, связано с наличием бедных песчаных почв, а также с близостью Овручского кристаллического кряжа. Сохранились здесь и обширные низинные торфяники (Лельчицкое-Свидовец, Лохницкое) с доминированием антропогенно-производной растительности (см. табл. 2, рис. 5, 15).

В районе преобладают заливные луга (80%), которые развиваются в основном в пойме р. Припять и ее притоков (Ствига, Уборть). Пойма р. Припяти на данном отрезке реки характеризуется преобладанием минеральных почв умеренно-

го грунтового увлажнения (средний уровень) и соответствующих им разнотравно-крупнозлаковых сообществ асс. *Poo palustris*–*Alopecuretum pratensis*, *Galio physocarp*–*Alopecuretum pratensis*. Притеррасная зона р. Припять здесь развита фрагментарно и представлена лугами низкого уровня – ценозами асс. *Phalaridetum arundinaceae*, *Caricetum gracilis*, *Glycerietum maximum*. По направлению к устью реки происходит уменьшение площадей лугов низкого уровня и увеличение доли лугов высокого уровня. Отрезок поймы р. Припять после г. Мозырь отличается сложным грядистым рельефом и широким распространением ксеромезофитных луговых и псаммофитных сообществ (см. табл. 2, рис. 15).

Гомельско-Приднепровский геоботанический район. Площадь лесов составляет 517,35 тыс. га, лесистость – 38,7%. Леса района отличаются пестротой типологической структуры. Преобладают сосновые кустарничково-зеленомошные боры на водно-ледниковых песках (около 17,7%) и широколиственно-сосновые неморально-травяные леса (20,3%), преимущественно на моренных и водно-ледниковых супесях. В структуре Гомельско-Приднепровского района наиболее высоко участие широколиственных лесов (прежде всего, дубрав) по сравнению с другими регионами страны (11,4%). Лист-

венные болотные леса (15,6%) обширными массивами расположены в понижениях вдоль рек Днепр, Ола, Ипуть, Брагинка, Вить. Фрагментарно среди ольсов, дубрав и сосняков размещаются участки мелколиственных производных лесов (14,6%). Нелесные болота сохранились небольшими массивами, значительные площади занимают нарушенные торфяники со спонтанной растительностью (8,5%), нередко закустаренные (3,8%) (см. табл. 2, рис. 6, 15).

Площадь лугов наибольшая среди геоботанических районов Полесско-Приднепровского округа (46,7 тыс. га – 7,6%), чуть более половины которых приходится на пойменные. Это луга, приуроченные к поймам рек Березина, Днепр, Ипуть и Сож. Схожий характер геоморфологического строения имеют поймы рек Березина, Днепр и Сож. Здесь получили широкое распространение луга среднего уровня с высокой долей ксеромезофитных травяных сообществ. Пойма р. Ипуть неразвита, на значительной части заболочена, только фрагментарно на высоких элементах рельефа формируются остепненные и мезофитные разнотравно-мелкозлаковые луга (см. табл. 2, рис. 15).

Южно-Полесский геоботанический район. Площадь лесов – 324,68 тыс. га, лесистость – 64,6% (см. табл. 2, рис. 3, 11). В целом, преобладание бедных песчаных почв обуславливает доминирование вересково-лишайниковых и бруснично-зеленомошных боров. Лиственные болотные леса занимают 14,0%, широколиственные – 4,7%, вторичные производные – 9,0%, кустарники – 7,3%. Однако можно сказать, что структура лесного покрова района неоднородна: если в западной и центральной частях основной фон создают сосновые леса, то в восточной части, в долине р. Припять, характер покрова мозаичный, обусловленный чередованием сосновых, черноольховых, мелколиственных вторичных лесов и пойменных кустарниковых сообществ. Значительная часть геоботанического района находится в зоне аварии на Чернобыльской АЭС, где деятельность человека ограничена.

В пределах округа преобладают заливные (60%) луга, развивающиеся в поймах рек Припять и Днепр. Здесь характерно широкое распространение остепненных лугов и псаммофитных пустошей, представленных сообществами с преобладанием *Agrostis vinealis*, *Koeleria delavignei*, *Poa angustifolia*; *Corynephorus canescens*, *Festuca polesica*, *F. trachyphylla*, *Sedum sexangulare* (см. табл. 2, рис. 15).

В заключении для сравнения между собой единиц геоботанического районирования выпол-

нен кластерный анализ по доли участия лесных растительных сообществ – индикаторов зональных особенностей состава и структуры растительности.

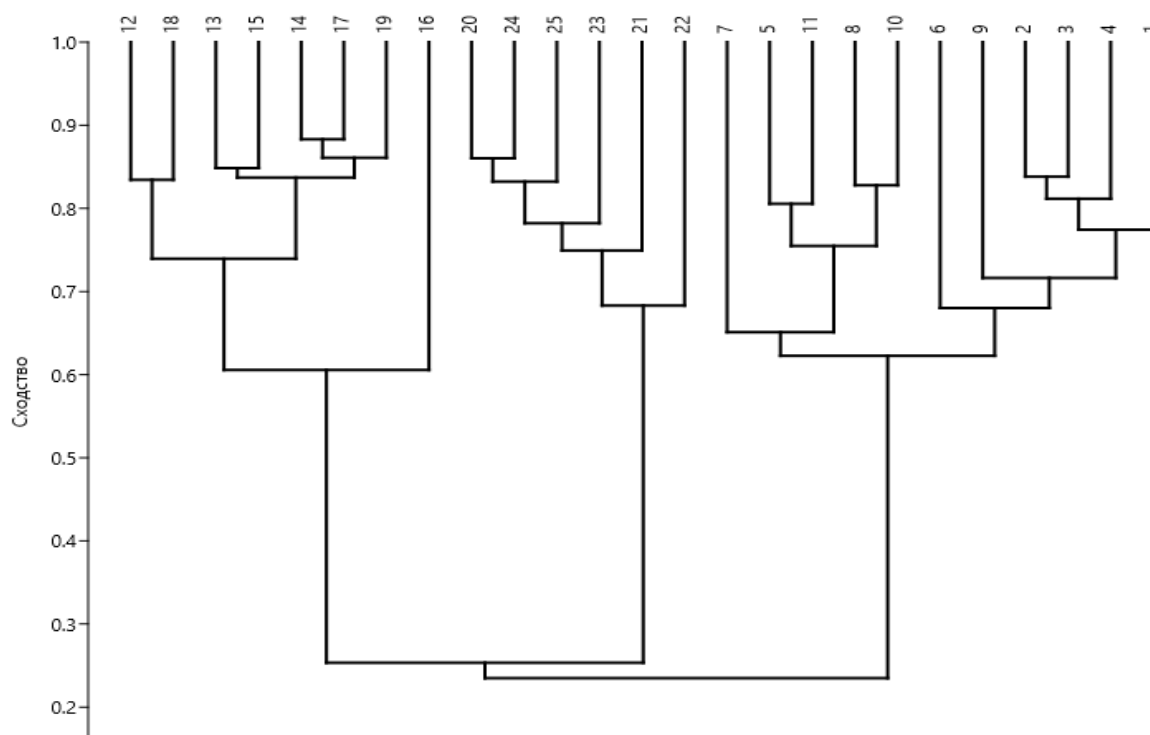
Оказалось, что разработанная более полувека назад схема геоботанического районирования Беларуси довольно репрезентативно отражает специфику современного лесного растительного покрова ($r=0,969$). На дендрограмме сходства, построенной на основе структуры лесов (% участия картируемого синтаксона от лесопокрывной площади) и с использованием коэффициента Брэя-Кертиса (рис. 16), хорошо различимы 3 крупных блока, соответствующие подзонам. Примечательно, что в составе подзоны дубово-темнохвойных лесов четко выделяется Западно-Двинский округ (№ 1–4), охватывающий бассейн р. Западная Двина и, в целом, подчеркивающий особенности Белорусского Поозерья. В данном кластере несколько обособленное положение занимают леса Верхне-Березинского (№ 9) и Беседского геоботанических районов (№ 6), растительность которых находится в границах, соответствующих речным бассейнам.

Центрально-Березинские (№ 12) и Налибокские леса (№ 18) подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов объединяет высокая доля лесных болот, Волковысско-Новогрудский район (№ 16) отличается от других районов подзоны наименьшей лесистостью, большей долей участия широколиственных и широколиственно-хвойных лесов (см. рис. 12).

Леса Беловежского геоботанического района (№ 15) демонстрируют высокое сходство с лесными сообществами Центрально-Предполесского (№ 13), Чечерско-Приднепровского (№ 14), Западно-Предполесского геоботанических районов (№ 17) (см. рис. 16).

Довольно однородную группу (см. рис. 16) формируют леса подзоны широколиственно-сосновых лесов (№№ 20–25), хотя и здесь прослеживается дифференциация лесной растительности (на Пинско-Припятские (№ 21) и Гомельско-Приднепровские (№ 22) леса).

Вместе с тем, анализ формационно-типологической структуры показал неоднородность некоторых геоботанических районов (например, Сожский (№ 8) и Южно-Полесский (№ 25) (см. рис. 7, 11, 15). Учитывая это, а также существенное изменение климатических условий в последние десятилетия, влекущее за собой перестройку структуры растительности, считаем целесообразным провести уточнение единиц геоботанического районирования.



Обозначения:

I. Подзона дубово-темнохвойных лесов

Западно-Двинский округ

- 1 Браславский район
- 2 Дисненский район
- 3 Полоцкий район
- 4 Суражско-Лучесский район

Оршанско-Могилевский округ

- 5 Березинско-Друтский район
- 6 Беседский район
- 7 Оршанско-Приднепровский район
- 8 Сожский район

Ошмянско-Минский округ

- 9 Верхне-Березинский район
- 10 Минско-Борисовский район
- 11 Нарочанско-Вилейский район

II. Подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов

Березинско-Предполесский округ

- 12 Центрально-Березинский район
- 13 Центрально-Предполесский район
- 14 Чечерско-Приднепровский район

Неманско-Предполесский округ

- 15 Беловежский район
- 16 Волковыско-Новогрудский район
- 17 Западно-Предполесский район
- 18 Налибокский район
- 19 Неманский район

III. Подзона широколиственно-сосновых лесов

Бугско-Полесский округ

- 20 Бугско-Припятский район
- 21 Пинско-Припятский район

Полесско-Приднепровский округ

- 22 Гомельско-Приднепровский район
- 23 Припятско-Мозырский район
- 24 Центрально-Полесский район
- 25 Южно-Полесский район

Рис. 16. Дендрограмма сходства структуры лесов по геоботаническим районам Беларуси

Fig. 16. Dendrogram of forest structure similarity in geobotanical regions of Belarus

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. Естественная и полустественная наземная растительность занимает площадь 11,02 млн га или 53,1% исследуемой территории страны.

2. Общая площадь лесной (и древесно-кустарниковой) растительности составляет 9,17 млн га или 44,2% от территории страны. В целом преобла-

дают хвойные и широколиственно-хвойные леса (28,3% и 19,5% от площади наземной растительности), высока доля лиственных коренных лесов на болотах (15,8%) и мелколиственных производных (15,3%) лесов. Относительно небольшие площади занимают широколиственные леса (4,2%).

Хвойные бореальные леса (сосновые, в том числе болотные, елово-сосновые и еловые леса)

преобладают во всех геоботанических подзонах Беларуси (22,3–32,3%), доля широколиственно-хвойных лесов в разрезе подзон составляет (с севера на юг): 24,4% (подзона I), 22,4% (II) и 10,4% (III); широколиственных – 2,3%, 4,6% и 6,5% соответственно. Довольно значительные площади (15,3%) в Беларуси заняты мелколиственными производными лесами с преобладанием *Betula pendula*, *Populus tremula* и *Alnus incana* на месте погибших или вырубленных хвойных и широколиственных лесов, наибольшие площади они занимают на северо-востоке страны (в целом 21,6% по подзоне дубово-темнохвойных лесов).

3. Открытые болота имеют относительно высокую долю в структуре растительного покрова Беларуси. Наиболее заболоченными являются Дисненский (39,3%), Полоцкий (35,3%), Березинско-Друтский (35,7%), Верхне-Березинский (31,8%), Пинско-Припятский (21,6%), Припятско-Мозырский (25,0%) геоботанические районы.

Торфяные болота разделяются на 2 крупных блока: лесные (2,30 млн га – 20,8%) и открытые (377,8 тыс. га – 3,4%). Среди лесных болот основной фон образуют листовенные болотные леса на торфяных почвах (класс **ALNETEA GLUTINOSAE**) с преобладанием *Alnus glutinosa* и *Betula pubescens* (1,75 млн га или 15,8%). В границах Дисненского, Полоцкого, Березинско-Друтского, Центрально-Березинского, Центрально-Предполесского, значительные площади занимают сосновые леса на олиго- и мезотрофных болотах.

Доля нелесных (открытых) болот на территории Беларуси относительно невелика (377,8 тыс. га – 3,4%), в т.ч. представлены – олиготрофные (класс **OXYCOCCO-SPHAGNETEA**, 197,5 тыс. га – 1,8%), мезотрофные (союз **SPHAGNO-CARICION CANESCENTIS**, 50,6 тыс. га – 0,3%) и эвтрофные (союзы **SPHAGNO WARNSTORFII-TOMENTYPNION NITENTIS**, **CARICION DAVALLIANAE**, класс **PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA**, 129,7 тыс. га – 1,2%) болота.

В пространственном аспекте типологическая структура болот существенно изменяется: на болотах подзоны дубово-темнохвойных лесов преобладают олиготрофные нелесные сфагновые болота; в центральной полосе страны (подзона грабово-дубово-темнохвойных лесов) основной фон образуют лесные (хвойные и листовенные) болота; в Полесье (подзона широколиственно-сосновых лесов) фитоценотическое ядро образуют травяные, кустарниковые, а также черноольховые и пушистоберезовые леса на эвтрофных болотах.

Масштабная мелиорация 1960–1980 гг. и изменение хозяйственного использования привели к тому, что значительную часть в структуре рас-

тительности страны занимают деградированные растительные сообщества торфяников (536,2 тыс. га – 4,9%). Наиболее высокая доля таких фитоценозов на территории Западно-Предполесского (9,0%), Пинско-Припятского (15,2%), Южно-Полесского (12,3%), Центрально-Полесского (8,5%) геоботанических районов.

4. Естественные луга Беларуси (классы **MO-LINIO-ARRHENATHERETEA**, **PHRAGMITO-MAGNOCARICETEA**, **NARDETEA STRICTAE**, **FESTUCO-PUCCINELLIETEA**) занимают 633,2 тыс. га (5,8% от площади, занятой наземной растительностью). Луга представлены 2 крупными категориями: пойменными (169,2 тыс. га – 1,5%) и внепойменными (464,0 тыс. га – 4,2%).

Наибольшие площади заливных лугов сконцентрированы в геоботанической подзоне широколиственно-сосновых лесов вдоль крупных рек (Днепра, Припяти, Сож и их притоков). В силу неоднородности рельефа пойм в них выделяются луга с неодинаковой обеспеченностью влагой и питательными веществами: остепненные (14,8% площади пойменных лугов), настоящие (33,7%), сырые (18,3%) и болотистые (33,2%). Половина всех пойменных остепненных лугов страны (12,6 тыс. га) сконцентрирована в южной геоботанической подзоне, на их долю в северной и центральной подзонах приходится по 25%. Внепойменные луга представлены суходольными (212,6 тыс. га) и низинными (251,4 тыс. га), вследствие изрезанности поверхности страны они не занимают крупных массивов, вкраплены среди других категорий растительности. Более половины (56,5%) внепойменных лугов страны находятся в северной геоботанической подзоне, здесь же располагается наибольшая доля (72,5%) суходольных лугов, которые развиваются на сравнительно богатых суглинистых почвах. В южной и центральной подзонах больше низинных лугов, чем суходольных – в 3 и 2 раза соответственно.

5. В современной структуре растительности страны кустарники занимают площадь 303,9 тыс. га (или 2,8% от площади, занятой наземной растительностью) и имеют тенденцию активного распространения. Наиболее распространена кустарниковая растительность (классы **FRANGULETEA**, **SALICETEA PURPUREAE**), на территории Южно-Полесского (7,3%), Припятско-Мозырского (5,0%), Пинско-Припятского (5,4%), Браславского (3,8%), Суражско-Луческого (3,3%) геоботанических районов (см. табл. 1, рис. 3).

6. По специфике геоботанической структуры и комплекса взаимодействующих природных факторов территория Беларуси подразделяется на 7 округов и 25 районов. Показано, что единицы геоботанического районирования объективно

отражают современные тенденции распространения, состав и структуру наземной растительности. В пределах этих территориальных единиц наблюдаются, с одной стороны, закономерные изме-

нения ценотической структуры растительного покрова, а с другой стороны, им присущи фитоценологические устойчивые подзональные черты основных типов растительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Растительность Европейской части СССР / Акад. наук СССР, Ботан. ин-т ; под ред. С. А. Грибовой, Т. И. Исаченко, Е. М. Лавренко. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1980. – 429 с.
2. Юркевич, И. Д. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии / И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман. – Мн. : Наука и техника, 1965. – 288 с.
3. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Мн. : Наука и техника, 1982. – 328 с.
4. Характеристика современной растительности Березинского биосферного заповедника / Д. Г. Груммо, Р. В. Цвирко, Н. А. Зеленкевич [и др.] // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2025. – Вып. 56. – С. 44–67.
5. Растительный покров Белоруссии : (с картой М 1 : 1 000 000) / Акад. наук Белорус. ССР, Ин-т эксперим. ботаники, Отд. геоботаники ; под ред. И. Д. Юркевича, В. С. Гельтмана. – Мн. : Наука и техника, 1969. – 175 с.
6. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Правила выделения типов леса = Устойливе лесакіраванне і лесакарыванне. Правілы выдзялення тыпаў лесу : ТКП 587-2016 (33090). – Введ. 01.01.2017. – Мн. : Минлесхоз, 2016. – 44 с.
7. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities / L. Mucina, H. Bultmann, K. Dierßen [et al.] // Applied Vegetation Science. – 2016. – Vol. 19, Suppl. 1. – P. 3–264.
8. Черепанов, С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – СПб. : Мир и семья, 1995. – 990 с.
9. Check-list of mosses of East Europe and North Asia / M. S. Ignatov, O. M. Afonina, E. A. Ignatova [et al.] // Arctoa. – 2006. – Vol. 15. – P. 1–131.
10. Юркевич, И. Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адериho. – Мн. : Наука и техника, 1979. – 248 с.
11. Буртыс, Н. А. Пойменные луга верхнего течения р. Неман (в пределах БССР) : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.01 / Н. А. Буртыс ; Ин-т эксперим. ботаники АН БССР. – Мн., 1966. – 21 с.
12. Цвирко, Р. В. Современная типологическая структура сосновой формации подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов / Р. В. Цвирко // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2010. – Вып. 38. – С. 140–148.
13. Faliński, J. B. Kartografia geobotaniczna : w 3 cz. / J. B. Faliński. – Warszawa ; Wrocław : PPWK, 1991. – Cz. 3 : Kartografia geobotaniczna ogólna i stosowana. – 355 p.
14. Kulczyński, S. Torfowiska Polesia / S. Kulczyński. – Kraków, 1939. – Т. 1. – 325 p.
15. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белоруссии / А. П. Пидопличко. – Мн., 1961. – 192 с.

Поступила в редакцию 12.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Груммо Дмитрий Геннадьевич – доктор биологических наук, доцент, директор Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Цвирко Руслан Владимирович – кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Куликова Елена Ярославовна – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Роговский Никита Михайлович – аспирант, научный сотрудник сектора экоминформатики Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Русецкий Сергей Геннадьевич – старший научный сотрудник сектора эcoinформатики Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Зеленкевич Наталья Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Жилинский Дмитрий Юрьевич – научный сотрудник сектора эcoinформатики Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Мойсейчик Екатерина Владимировна – научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Пучило Анатолий Викентьевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геоботаники и картографии растительности Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

ЭКОЛОГИЯ ПРИРОДНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ECOLOGY OF NATURAL PLANT COMPLEXES

УДК 630*181:551.583(476)

А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ¹, А. В. МАНДРЫК¹, Я. К. ИГНАТЬЕВ¹, С. А. ЖДАНОВИЧ²

КЛИМАТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ГИБЕЛИ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

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

²ГУ «Беллесозащита», e-mail: zhsa82@mail.ru

Аннотация. В статье в территориальном аспекте рассматривается динамика гибели лесных насаждений в Республике Беларусь за период с 1990 по 2025 гг., обусловленная ураганными ветрами, засухами и вызванными засушливыми явлениями массовыми размножениями вторичных вредителей леса. Выявлены особенности погодно-климатических условий, при которых происходит формирование очагов массового размножения стволовых вредителей и происходит усыхание сосновых и еловых лесов. На основе анализа многолетней динамики сумм активных температур показано, что в лесном фонде страны еловые леса находятся в условиях перманентного стресса, за исключением Витебской области, а сосновые – в зоне риска в регионе Белорусского Полесья.

Ключевые слова: изменение климата, Беларусь, усыхание, хвойные леса.

A. V. PUGACHEVSKIY¹, A. V. MANDRYK¹, YA. K. IGNATIEV¹, S. A. ZHDANOVICH²

CLIMATICALLY DETERMINED PROCESSES OF CONIFEROUS FOREST DIEBACK IN BELARUS UNDER GLOBAL WARMING

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: dendro@botany.by

²State Institution "Bellesozashchita", e-mail: zhsa82@mail.ru

Abstract. This article examines the dynamics of forest loss in the Republic of Belarus from 1990 to 2025, driven by hurricane-force winds, droughts, and drought-induced mass outbreaks of secondary forest pests. Specific weather and climate conditions are identified that trigger the formation of outbreaks of stem pests and the dieback of pine and spruce forests. Based on an analysis of long-term dynamics of active temperature sums, it is shown that spruce forests in the country's forest fund are under permanent stress, with the exception of the Vitebsk Region, while pine forests are at risk in the Belarusian Polesie region.

Keywords: climate change, Belarus, dieback, coniferous forests.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Республики Беларусь и её лесной фонд находятся в пограничной полосе на стыке двух крупных ботанико-географических структур: Евразийской таёжной (хвойно-лесной) и Европейской неморальной (широколиственно-лес-

ной) зон. Растительность этих зон представлена в Беларуси комплексом взаимопроникающих и закономерно сменяющих друг друга в пространстве и времени (в процессе сукцессионной динамики) лесных формаций: бореальных (сосновые,

еловые и производные от них мелколиственные леса) и неморальных широколиственных лесов. Их структура и динамика, основанные на устоявшихся веками границах ареалов основных лесообразующих пород, экологических свойствах, геоморфологической и эдафической приуроченности мест их произрастания и в значительной степени регулируемая хозяйственной деятельностью, в последние десятилетия (начиная с 1988 г.) оказались нарушены и частично трансформированы в результате глобального изменения климата.

Последствия изменений климата в экосистемах лесов, доминирующие синусии которых сформированы многолетними (растущими до 100 и более лет) вечнозелеными или листопадными древесными растениями, весьма многообразны. Воздействие этих изменений теплового режима и водообеспеченности распространяется не только на лесообразующие породы, но и на всю биоту лесных экосистем, что меняет и нарушает устоявшиеся трофические и топические связи и отношения в консорциях древесных видов. К числу наиболее ярких, экологически и хозяйственно значимых последствий изменения климата в лесах Беларуси относится массовое

усыхание древостоев ели европейской (*Picea abies* Karst.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), имевшее место с середины 1990-х и продолжающееся с меняющейся интенсивностью по настоящее время. Интенсивность усыхания хвойных лесов, ослабленных в результате воздействия внешних климатических или иных био- и антропогенных факторов, регулируется в условиях Беларуси преимущественно активностью насекомых ксилофагов: короеда типографа (*Ips typographus* L.) у ели, вершинного (*I. acuminatus* Gyllenhal) и у шестизубчатого (*I. sexdentatus* Boerner) короедов сосны, – и сопутствующих им более малочисленных вредителей.

Проблеме усыхания хвойных лесов Беларуси и анализу вызвавших её факторов посвящено немало публикаций [1–4], равно как и специальным вопросам воздействия насекомых-вредителей леса и взаимодействия с ними хвойных пород [5]. Вместе с тем проблема усыхания лесов далека от её разрешения, а меняющийся климат делает проблему все более острой и требующей обобщения накопленных за более чем 30 лет знаний о динамике этого процесса и сопряженных с ним факторов.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются леса Республики Беларусь с общим акцентом на еловые и сосновые насаждения, подверженные массовому климатически детерминированному усыханию.

Выявление особенностей процесса усыхания лесов и определяющих его факторов построено на сопряженном анализе официальных данных о масштабах гибели лесов за 1990–2025 гг., динамике сплошных санитарных рубок в хвойных лесах всех подчиненных Министерству лесного хозяйства Беларуси государственных лесохозяйственных учреждений, предоставленных ГУ «Беллесозащита» результатах учета численности короедов типографа, вершинного и шестизубчатого на сети феромонного мониторинга с 2014 г. для ели и с 2016 г. – для сосны, материалов учета лесного фонда, детального обобщения сведений о динамике основных параметров погодно-кли-

матической ситуации (средней и максимальной суточных температур и сумм осадков), основанной на данных за 1990–2025 гг. 48 метеорологических станций системы РУП «Белгидромет».

Прогноз развития гидрометеорологической ситуации до 2050 г. основан на обзоре публикаций белорусских климатологов [6–8].

Обработка и отображение данных выполнено в программном комплексе Microsoft Excel, спектральный анализ временного ряда динамики гибели лесов выполнен в программе SPSS Statistics с настройками построения периодограммы по периодам, картографического материала – путем интерполяции с помощью инструмента B-Splain, построение изолиний метеопараметров – по растровому слою в программе SAGA-GIS. Оформление итогового картографического материала – в QGIS.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая динамика и масштабы гибели лесов Беларуси показаны на рис. 1 и 3, построенных на основе официальных статистических данных. Всего в течение 35 лет (с 1991 по 2025 гг.) по разным причинам, главным образом природного происхождения, погибло более 527 тыс. га леса. Масштабы гибели лесов варьировали от 450 га (в 1991 г.) до 49 966 га (в 2018 г.). И, если

в первые 4–5 лет этого периода в структуре причин утраты насаждений преобладали лесные пожары, то в последующем (начиная с 1995 г.) главным фактором гибели насаждений стали неблагоприятные погодно-климатические условия (см. рис. 1). При этом понижение масштабов и доли повреждения древостоев лесными пожарами обусловлено в первую очередь эффек-

тивностью системы охраны лесов от пожаров, а во вторую — значительным ростом масштабов гибели лесов от иных обусловленных неблагоприятными погодно-климатическими условиями факторов.

В динамике гибели древостоев в белорусских лесах прослеживается хорошо выраженная цикличность с периодичностью около 7 лет (см. рис. 2), что закономерно предполагает зависимость процесса от внешних факторов с той же или близкой ей периодичностью проявления.

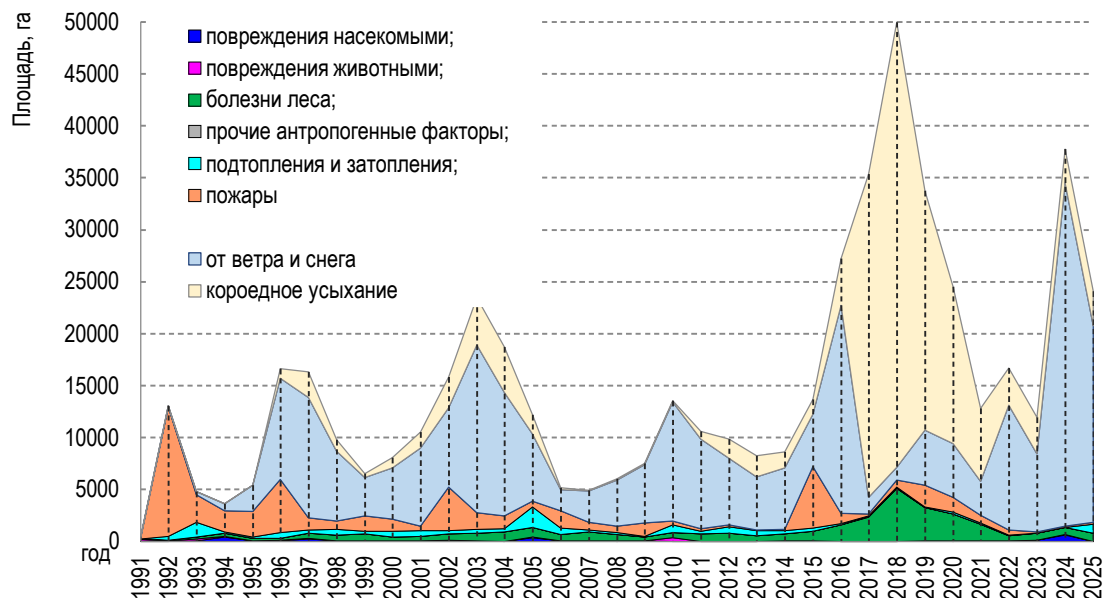


Рис. 1 — Динамика гибели лесов за 1991–2025 гг. в разрезе обусловивших её факторов (по материалам Национального статистического комитета Республики Беларусь за соответствующие годы)

Fig. 1 — Dynamics of forest loss for 1991–2025 in terms of the factors that determined it (based on materials from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus for the corresponding years)

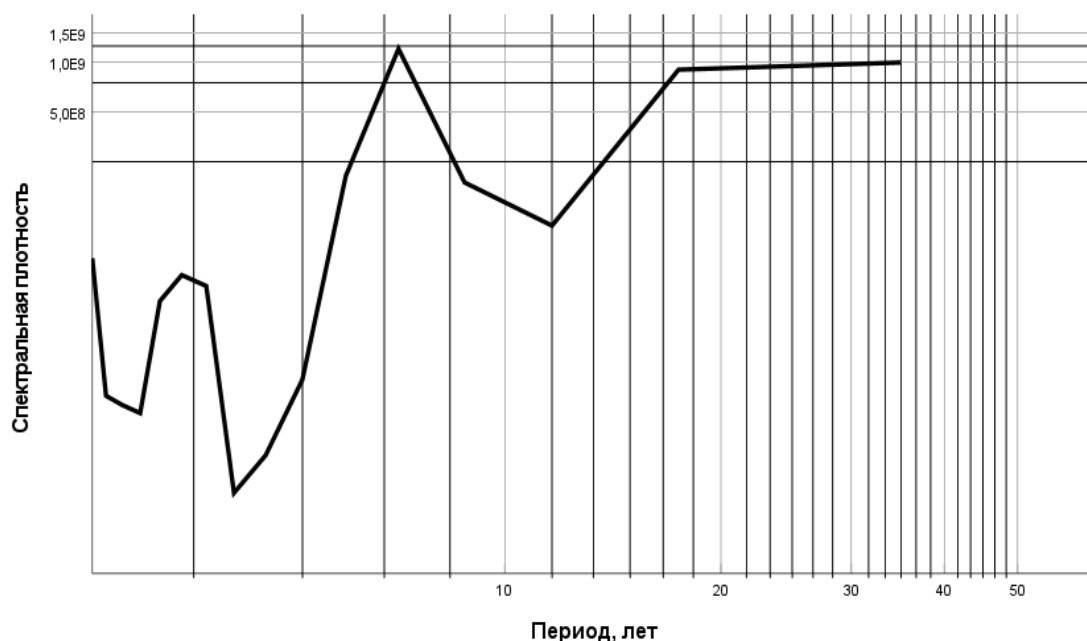


Рис. 2 — Спектральная плотность (периодограмма) временного ряда динамики гибели лесов Беларуси за 1991–2025 гг.

Fig. 2 — Spectral density (periodogram) of the time series of forest mortality dynamics in Belarus for 1991–2025.

По многолетней динамике в структуре гибели лесов выделены четыре основные причины:

- лесные пожары;
- ветровалы и буреломы;
- климатически детерминированное усыхание еловых лесов;
- климатически детерминированное усыхание сосновых лесов.

Три последних пункта в материалах Национального статистического комитета Республики Беларусь в области лесного хозяйства объединены в общую категорию «гибель лесов от неблагоприятных погодных условий», к ней относятся еще и гибель от снеговалов и снеголомов, масштаб которой несопоставим с тремя ранее названными.

Доля неблагоприятных погодных факторов в общем объеме гибели лесов за 35 лет составила по площади в среднем 80,1%, лесных пожаров – 10,7%.

Вклад ветровалов и буреломов в сочетании с снеговалами и снеголомами – наибольший в структуре гибели лесных насаждений – 48,5% или 255,8 тыс. га за 35 лет. Всего, начиная с 1996 г., вырублено 49,6 тыс. га усохших и усыхающих ельников (9,4%), 117,0 тыс. га сосняков (22,2%) (рис. 3).

На протяжении последних десятилетий в условиях воздействия неблагоприятных климатических факторов, включающих периоды экстремально высоких температур, пониженную влажность атмосферного воздуха в сезон вегета-

ции, существенный дефицит осадков в ряде регионов страны, наблюдалось периодическое массовое усыхание еловых насаждений, вызванное массовым размножением короеда типографа.

На территории Беларуси последние 30 лет снижение биологической устойчивости и усыхание еловых лесов имеют волнообразный характер со следующими периодами усыхания: 1994–1997 гг., 2000–2004 гг., 2011–2013 гг., 2017–2019 гг. и 2023–2025 гг. (рис. 4 и 5). Всего за 30 лет вырублено 49,6 тыс. га ельников. При этом доля усыхания ели, начиная с 1996 г. по настоящее время, варьирует от 0,63% (2010 г.) до 24,8% (2013 г.) в год от всех погибших лесов. Практически усыхание ельников стало перманентным – меняются лишь масштабы и регионы, в которых процесс проявляется в большей или меньшей степени.

Обусловленное неблагоприятными погодными условиями короедное усыхание сосновых насаждений в Беларуси не стало перманентным, продолжалось около 5 лет, но всего за 2016–2021 гг. привело к повреждению древостоев в различной степени на площади 826,1 тыс. га и потребовало проведения санитарно-оздоровительных мероприятий с вырубкой 38,1 млн м³ древесины повреждённых деревьев. Как массовое явление к 2022 г. короедное усыхание сосны прекратилось, хотя отдельные очаги вершинного короеда продолжали функционировать. Наибольший ущерб нанесен сосновым древостоям в Гомельской, Брестской и Минской областях (рис. 5, 6, 7).

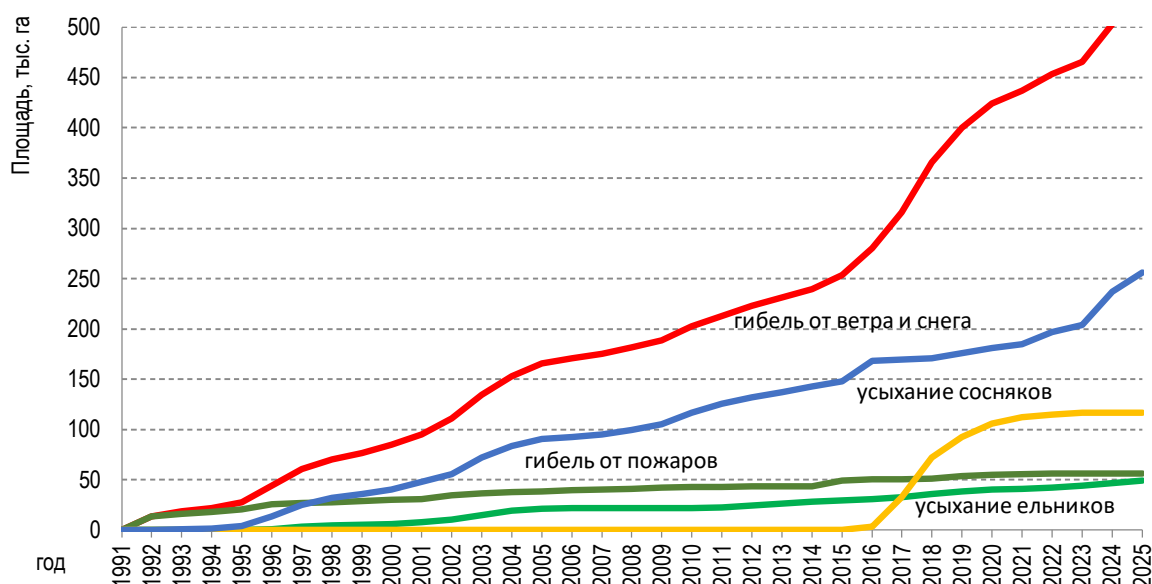


Рис. 3 – Динамика общей площади гибели лесов Беларуси, в т.ч. от неблагоприятных погодных условий и её составляющих за 1991–2025 гг.

Fig. 3 – Dynamics of the total area of forest loss in Belarus, including from unfavorable weather conditions and its components for 1991–2025.



Рис. 4. Динамика постановки на учет и вырубки усыхающих ельников в 1996–2025 гг. в лесном фонде Республики Беларусь, га

Fig. 4. Dynamics of registration and cutting down of dying spruce forests in 1996–2025 in the forest fund of the Republic of Belarus, ha

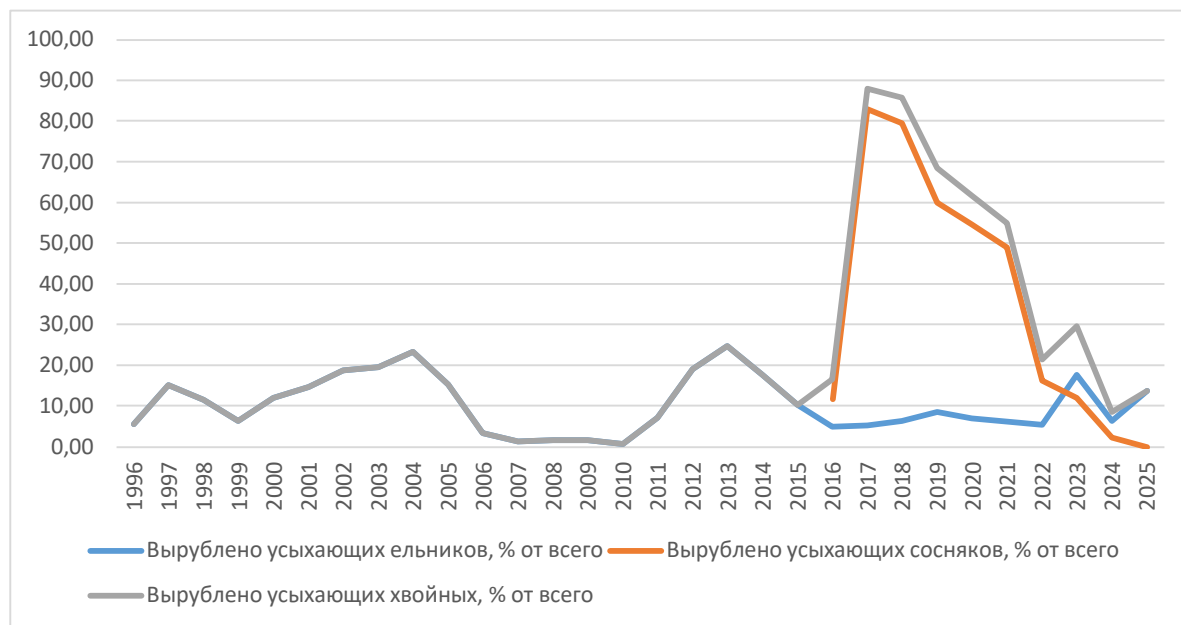


Рис. 5 – Динамика доли (%) вырубленных усыхающих вследствие неблагоприятных погодных условий ельников и сосняков в 1996–2025 гг. в общем объеме гибели лесов в лесном фонде Республики Беларусь

Fig. 5 – Dynamics of the share (%) of cut down spruce and pine forests drying out due to unfavorable weather conditions in 1996–2025 in the total volume of forest loss in the forest fund of the Republic of Belarus

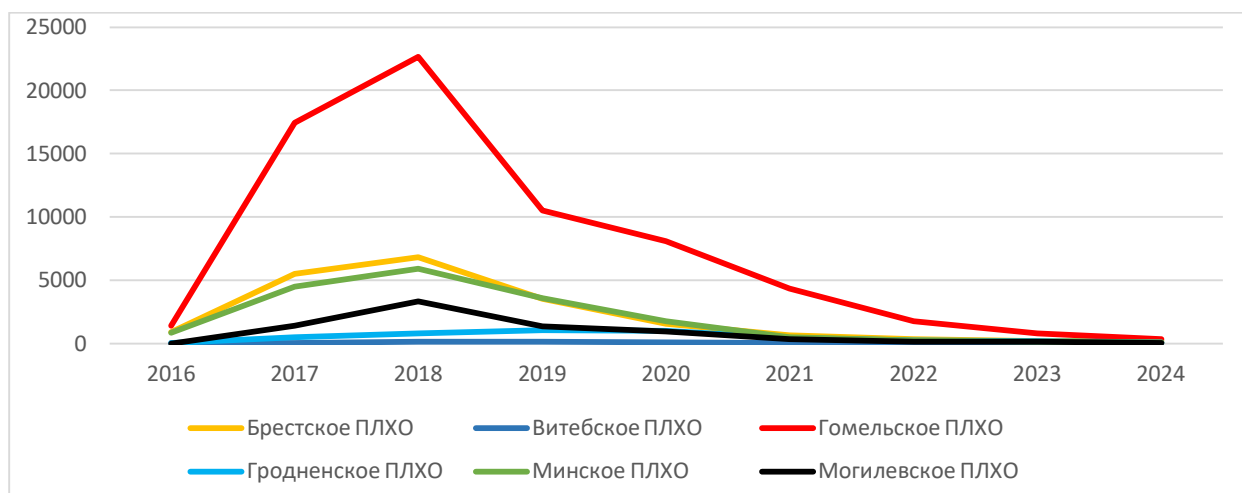


Рис. 6. Погодичная динамика объемов сплошных санитарных рубок в усыхающих сосновых насаждениях с 2016 по 2024 гг. по государственным областным производственным лесохозяйственным объединениям (ПЛХО), га

Fig. 6. Annual dynamics of the volume of clear sanitary felling in drying pine stands from 2016 to 2024 by state regional production forestry associations (PFFA), ha

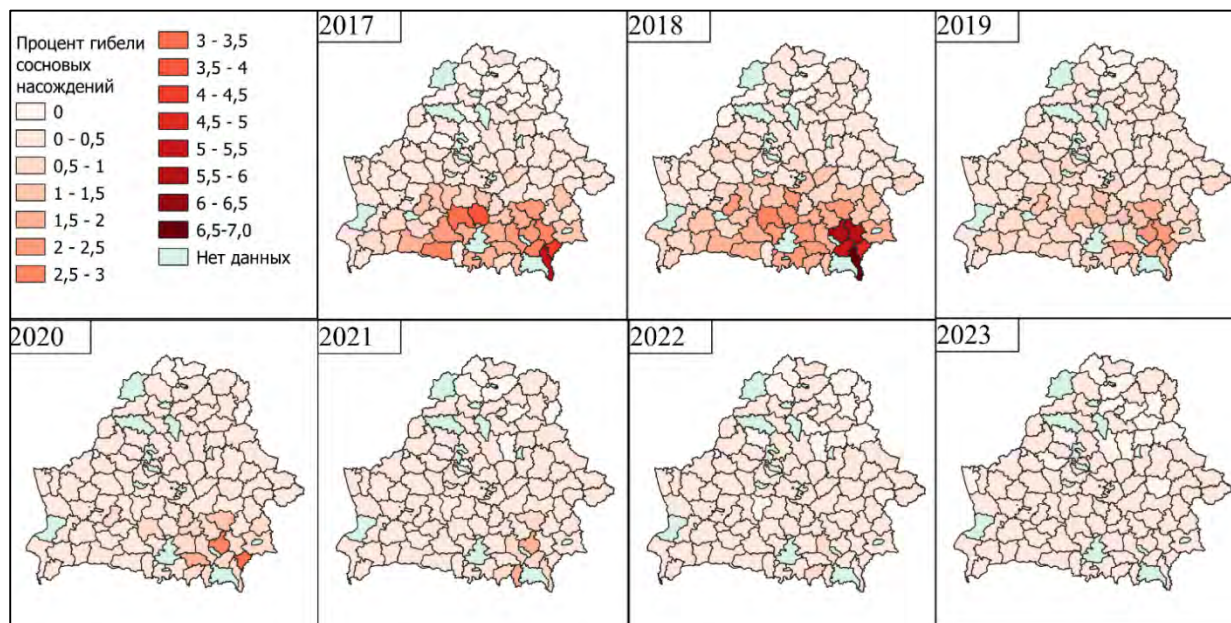


Рис. 7. Динамика гибели сосновых лесов по лесхозам в 2017–2023 гг., % от площади сосняков

Fig. 7. Dynamics of pine forest loss by forestry enterprises in 2017–2023, % of pine forest area

Максимум усыхания сосняков в лесном фонде Беларуси пришелся на 2017 и 2018 гг., после чего процесс пошел на спад, хотя и оставался довольно высоким ещё и в 2019–2021 гг. в южных регионах Беларуси (см. рис. 5, 6, 7).

С 2016 по 2023 гг. в лесхозах Белорусского Полесья, только в Брестском и Гомельском государственных производственных лесохозяйственных объединениях (ГПЛХО) сплошными санитарными рубками вырублено более 92,5 тыс. га усыхающих сосновых насаждений с общим запасом около 23,2 млн. м³. В совокупности это со-

ставляло 5,65% всех сосновых лесов этих двух областей.

При этом на юго-востоке Беларуси (Хойникский спецлесхоз, Речицкий опытный, Лоевский, Комаринский, Василевичский лесхозы) доля вырубленных за 7 лет сосняков превысила 10% их общей площади (от 11,8 до 17,1%). Меньшее по масштабам (до 3%) усыхание сосны имело место и на западе региона (Брестский, Пружанский, Малоритский, Барановичский, Ганцевичский лесхозы) и в его наиболее заболоченной части – в Полесском лесхозе (всего 1,5%)

Наиболее значимое воздействие на состояние лесной растительности, лесопожарную обстановку, формирование и динамику очагов массового размножения насекомых-вредителей леса оказывают погодные условия вегетационного сезона, временные границы которого в условиях Беларуси в основном вписываются в период с апреля по сентябрь.

На основе сведений о помесечной динамике среднемесячных температур и сумм осадков вегетационного сезона за период с 1990 по 2024 гг. по административным областям Беларуси выполнен регрессионный анализ, описывающий общие тренды среднемесячных температуры и сумм осадков на их территории (табл. 1 и 2, рис. 8 и 9).

Методически величина изменений среднемесячной температуры воздуха и сумм осадков оценивалась как разность между конечным и начальным значениями графиков линейной регрессии, соответствующих 2024 и 1990 гг. При этом для каждой из областей средние характеристики рассчитывались на основе фактических данных всех расположенных в их границах гидрометеорологических станций.

За 35-летний период наблюдений наиболее радикальные изменения произошли в теплообеспеченности июня (+2,8–3,4°C), августа (+2,5–3,0°C) и сентября (+2,8–3,5°C). Потепление апреля, мая и июля также имело место по всей территории страны, но оказалось не столь значительным: +0,4–1,2°C, +0,8–1,7°C и +1,4–2,2°C, соответственно (см. табл. 1).

Таблица 1. Изменение среднемесячных температур воздуха в начале (1990 г.) и конце (2024 г.) анализируемого периода по результатам регрессионного анализа в разрезе административных областей Беларуси

Table 1. Changes in average monthly air temperatures at the beginning (1990) and end (2024) of the analyzed period based on the results of regression analysis by administrative regions of Belarus

Административные области	Среднемесячные температуры в начале и конце анализируемого периода (°C) и их изменения (Δ , °C)																	
	апрель			май			июнь			июль			август			сентябрь		
	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ
Брестская	7,5	8,7	1,2	13,2	14,1	0,9	15,8	18,9	3,1	18,1	20,3	2,2	17,2	19,9	2,7	11,7	14,9	3,2
Гомельская	8,1	9,2	1,1	13,6	14,9	1,3	16,5	19,9	3,4	18,9	20,8	1,9	17,4	20,4	3,0	11,7	14,8	3,1
Могилевская	7,1	7,8	0,7	12,5	13,6	1,1	15,6	18,4	2,8	18,0	19,6	1,6	16,5	19,1	2,6	10,8	13,6	2,8
Минская	7,5	7,9	0,4	12,8	13,6	0,8	15,7	18,6	2,9	18,3	19,7	1,4	16,8	19,3	2,5	11,1	14,0	3,0
Гродненская	7,2	8,1	0,9	12,3	13,6	1,3	14,9	18,3	3,4	17,6	19,6	2,0	16,6	19,3	2,7	11,0	14,5	3,5
Витебская	5,7	6,9	1,2	10,4	12,1	1,7	13,1	16,5	3,4	15,4	17,6	2,2	14,0	17,0	3,0	9,2	12,3	3,1

Таблица 2. Изменение месячных сумм осадков в начале (1990 г.) и конце (2024 г.) анализируемого периода по результатам регрессионного анализа в разрезе административных областей Беларуси

Table 2. Changes in monthly precipitation at the beginning (1990) and end (2024) of the analyzed period based on the results of regression analysis by administrative regions of Belarus

Административные области	Среднемесячные суммы осадков в начале и конце анализируемого периода (мм) и их изменения (Δ , мм/% к 1990 г.)																	
	апрель			май			июнь			июль			август			сентябрь		
	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ	1990	2024	Δ
Брестская, мм	36,8	44,9	8,1	56,8	61,0	4,2	66,2	70,5	4,3	83,9	100,7	16,8	55,0	67,1	12,1	67,3	48,0	-19,3
%			22,0			7,4			6,5			20,0			22,0			-28,7
Гомельская, мм	33,0	42,4	9,4	54,3	50,0	-4,3	58,6	60,1	1,5	88,1	85,5	-2,6	48,5	48,7	0,2	64,0	29,1	-34,9
%			28,5			-7,9			2,6			-3,0			0,4			-54,5
Могилевская, мм	37,0	47,0	10	54,4	62,1	7,7	71,6	67,2	-4,4	79,2	102,7	23,5	63,2	57,3	-5,9	68,0	40,0	-28,0
%			27,0			14,2			-6,1			29,7			-9,3			-41,2
Минская, мм	36,7	40,6	3,9	56,7	64,0	7,3	82,1	59,8	-22,3	86,3	91,5	5,2	54,7	76,6	21,9	61,6	53,4	-8,2
%			10,6			12,9			-27,2			6,0			40,0			-13,3
Гродненская, мм	40,2	39,6	-0,6	64,1	63,2	-0,9	72,6	59,7	-12,9	83,1	99,1	16	61,3	71,4	10,1	79,8	39,0	-40,8
%			-1,5			-1,4			-17,8			19,3			16,5			-51,1
Витебская, мм	30,9	40,7	9,8	55,1	52,2	-2,9	75,7	59,6	-16,1	63,1	94,1	31	53,7	75,3	21,6	69,7	37,2	-32,5
%			31,7			-5,3			-21,3			49,1			40,2			-46,6

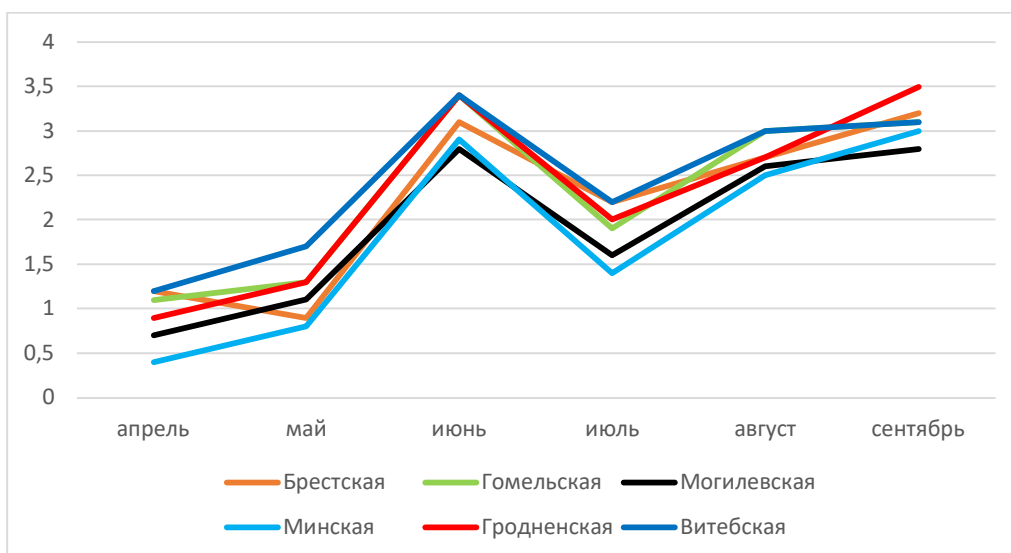


Рис. 8. Изменение среднемесячных температур воздуха по административным областям в начале (1990 г.) и конце (2024 г.) анализируемого периода по результатам регрессионного анализа линейных трендов

Fig. 8. Changes in average monthly air temperatures by administrative region at the beginning (1990) and end (2024) of the analyzed period based on the results of regression analysis of linear trends

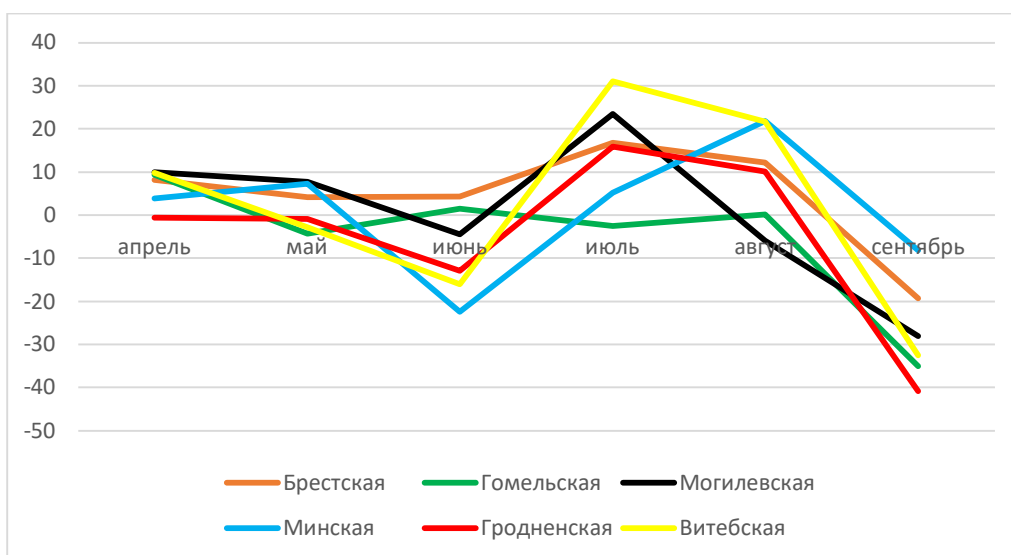


Рис. 9. Сезонная динамика изменения месячных сумм осадков в начале (1990 г.) и конце (2024 г.) анализируемого периода по административным областям Беларуси по результатам регрессионного анализа

Fig. 9. Seasonal dynamics of changes in monthly precipitation amounts at the beginning (1990) and end (2024) of the analyzed period by administrative regions of Belarus based on the results of regression analysis

При этом наибольшее изменение температуры воздуха имело место в Витебской, Гомельской и Гродненской областях, наименьшее – в Минской и Могилевской (см. табл. 1, рис. 8).

Изменения в количестве выпадающих осадков не столь однозначны. В целом за период вегетации количество осадков уменьшилось в Гомельской (на 8,9%) и Гродненской (на 7,3%) областях и увеличилось в остальных: на 0,8% в Мо-

гилевской области, 2,1% – Минской, 3,1% – Витебской, 7,2% – Брестской (см. табл. 2, рис. 9).

Количество осадков в апреле и мае мало изменилось по сравнению с началом 1990-х (Гродненская область), либо выросло – на 11–32% в апреле и на 7–14% – в мае (см. табл. 2).

В июне сумма осадков изменилась незначительно в Брестской и Гомельской областях и сократилась на 6–27% на остальной территории

Беларуси. В июле сумма осадков выросла в большинстве областей, за исключением Гомельской. В августе увеличение осадков имело место в 4-х областях, кроме Гомельской и Могилевской. Наиболее значительный рост сумм осадков (на 40%) отмечен в Минской и Витебской областях. Увеличение количества осадков в известной степени компенсировало негативное воздействие потепления на леса.

Повсеместно и наиболее значительно сократилось количество осадков в сентябре: на 8,2–54,5% (см. табл. 2, рис. 9).

Однако тренды отдельных параметров, характеризующих изменения погодно-климатической ситуации (температуры, сумм осадков) в начале и конце анализируемых периодов, не дают достаточного представления об их воздействии на динамику состояния и гибели лесов.

Более информативно сравнение интегральных показателей режимов температуры и осадков между периодами улучшения (снижения масштабов гибели лесов) и ухудшения (их увеличения) их состояния. Основываясь на графиках динамики гибели лесов (см. рис. 1, 4) к периодам улучшения (уменьшения масштабов гибели) отнесены 1993, 1994, 1998, 1999, 2004–2007, 2011–2015, 2019–2021, 2023, 2025 гг.; напротив годами ухудшения (увеличения масштабов гибели) стали 1992, 1995–1997, 2000–2003, 2008–2010, 2016–2018, 2022, 2024 гг.

Сравнение графиков и картограмм среднеемноголетней сезонной динамики гидротермического коэффициента Селянинова, основанной на расчете его помесечных значений, свидетельствует о весьма значительных различиях гидро-

термического режима в периоды роста и уменьшения масштабов гибели лесов.

Наиболее существенно различаются гидротермические условия (ГТК) мая: этот показатель в период роста гибели лесов варьирует от 1,15 до 1,44, тогда как в период уменьшения гибели – от 1,50 до 1,84, – и августа (0,77–1,11 против 1,17–1,61). При этом погодные условия августа соответствуют засушливому климату во всех областях (ГТК<1,0), кроме Витебской. Различия в остальные месяцы не столь существенны (рис. 10, 11). Следует иметь в виду, что масштабы гибели лесов далеко не всегда связаны с их климатически детерминированным усыханием. Ураганы и шквалы, повреждающие в отдельные годы древостои на тысячах гектаров, оказывают ещё большее воздействие на целостность лесного покрова (см. рис. 1).

Изменения месячной степени увлажнения территории, выраженное в форме среднеемноголетних гидротермических коэффициентов Селянинова, отображает, с одной стороны, различия в степени осушения территории Беларуси между периодами 1960–1989 и 1990–2022 гг., а с другой – территориальные особенности этого процесса и их различия в периоды сокращения и нарастания масштабов гибели лесов (рис. 12.а–12.д).

И этот тренд отображает общее снижение степени увлажнения территории страны во все месяцы вегетационного сезона, наиболее радикальное в июне (см. рис. 12.б) и августе (см. рис. 12.г). В мае (см. рис. 12.а), июле (см. рис. 12.в) и сентябре (см. рис. 12.д) общий уровень увлажнения либо изменился не столь значительно, либо варьирует по территориям.

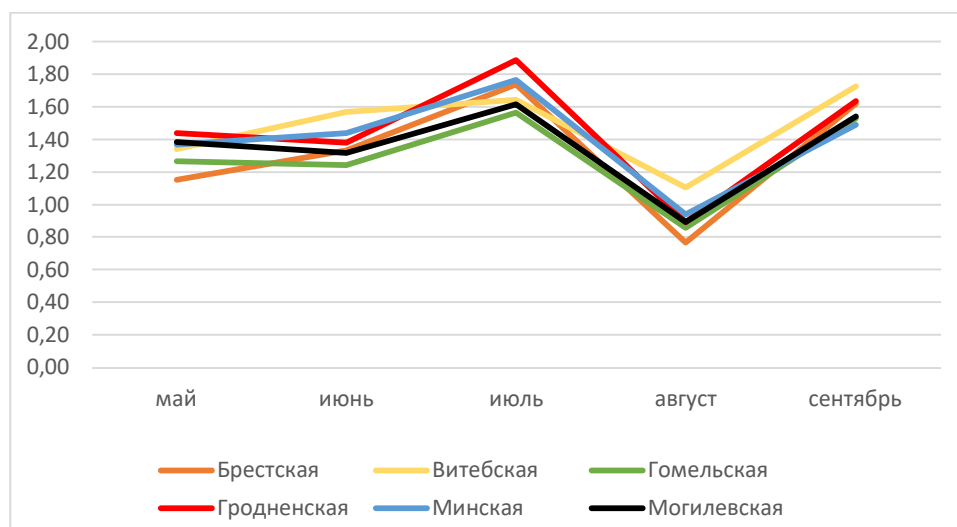


Рис. 10. Сезонная динамика среднеемноголетнего гидротермического коэффициента Селянинова в периоды увеличения масштабов гибели лесов в 1990–2025 гг. по областям

Fig. 10. Seasonal dynamics of the average long-term hydrothermal coefficient of Selyaninov during periods of increasing forest loss in 1990–2025 by region

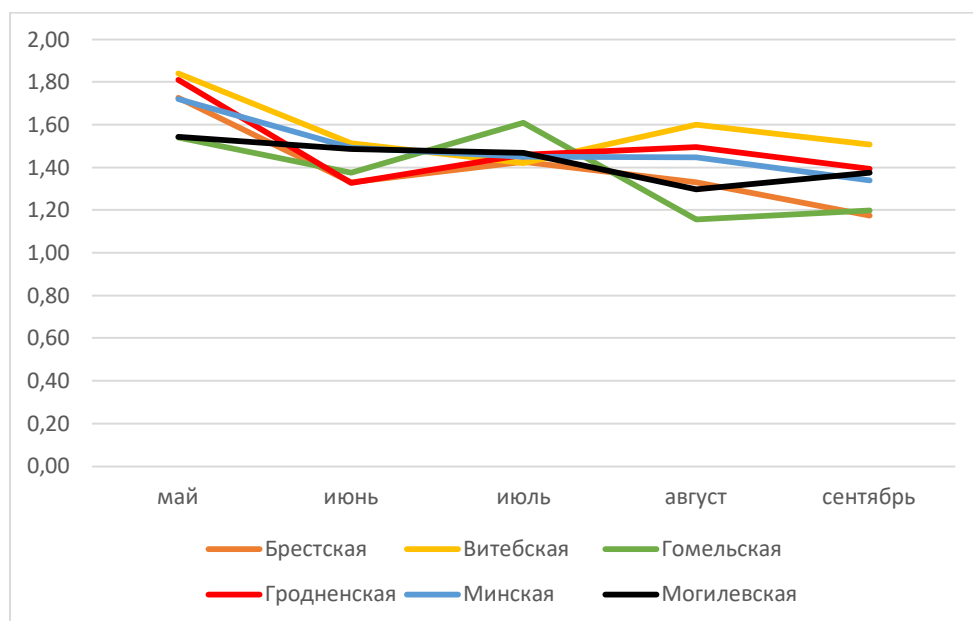


Рис. 11. Сезонная динамика среднемноголетнего гидротермического коэффициента Селянинова в периоды уменьшения масштабов гибели лесов в 1990–2025 гг. по областям

Fig. 11. Seasonal dynamics of the average long-term hydrothermal coefficient of Selyaninov during periods of decreasing forest loss in 1990–2025 by region

С другой стороны, по временным периодам сокращения (А) и увеличения (Б) масштабов гибели лесов ситуация отличается: годы нарастания масштабов гибели отмечены наиболее существенным уменьшением уровня увлажнения территории в мае, июне и, особенно, в августе (см. рис. 12.а.Б, 12.б.Б, 12.г.Б).

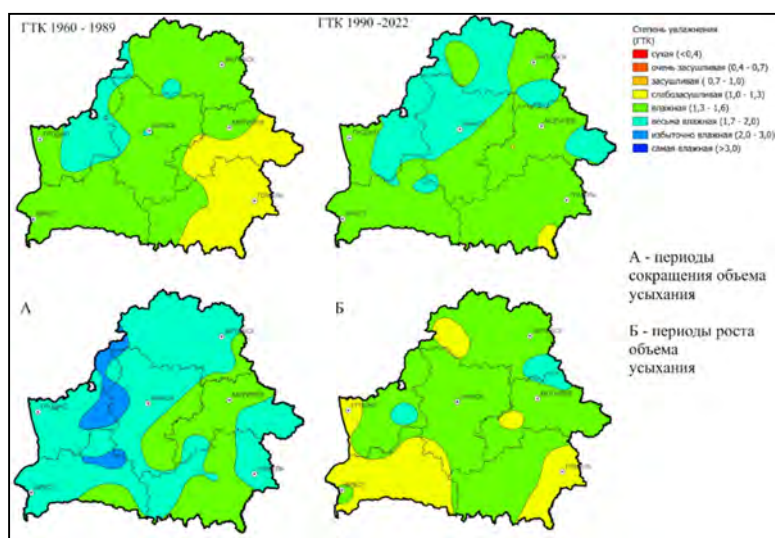
При этом май – критически важный месяц в сезонном развитии деревьев сосны и ели, когда происходит массовое нарастание листового аппарата, побегов текущего года, на 30% формируется годичный прирост стволовой массы, что в совокупности обеспечивает функционирование защитных механизмов древесных растений. С другой стороны, именно в мае формируется первое, основное поколение короедов: типографа, вершинного, шестизубчатого, воспроизводственный успех которого зависит от температурного режима и обилия осадков [5]. Крайне важен для вредителей и август, условия которого способствуют, либо препятствуют полному завершению развития второго поколения вредителей перед их уходом в зимовку.

Засушливые условия августа в сочетании с высокими температурами приводят к ослаблению деревьев, в особенности ели с её поверхностной корневой системой и сравнительно тонкой корой при большой массе испаряющей поверхности многолетнего листового аппарата (хвои).

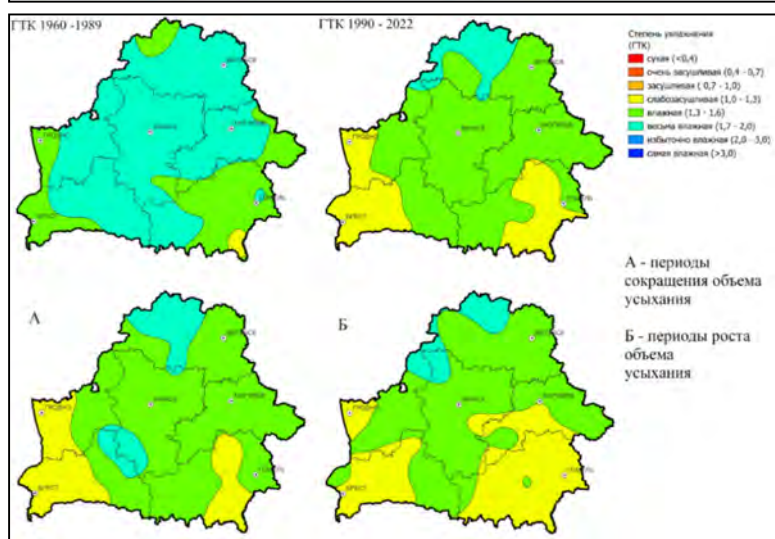
Одним из основных негативных последствий происходящих климатических изменений стало

снижение биологической устойчивости древостоев основных лесообразующих пород. Процесс изменения климата носит глобальный характер и леса Республики Беларусь, как и многих регионов мира, испытывают его пагубное воздействие, которое проявляется прежде всего в увеличении частоты и интенсивности опасных для леса метеорологических явлений – сильных ветров, ожеледей, засух. Эти явления оказывают как прямое негативное воздействие непосредственно вызывая повреждения древостоев, так и косвенное, которое проявляется в снижении энтомоустойчивости деревьев, создании благоприятных условий для размножения вредителей и болезней леса, повышении пожарной опасности в лесах и частоты возникновения лесных пожаров.

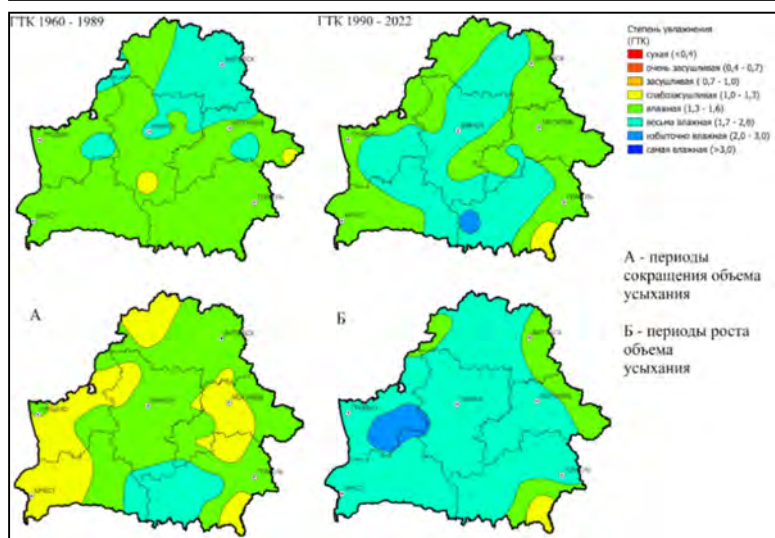
Наиболее уязвимыми в Беларуси оказались насаждения хвойных пород. И если периодическое усыхание еловых лесов на территории республики наблюдается уже не одно десятилетие, то массовое усыхание сосны Беларуси, начавшееся после 2015 г., стало совершенно новым явлением для современного лесного хозяйства страны, в том числе и в связи с формированием энтомокомплекса насекомых-ксилофагов с преобладанием вершинного и шестизубчатого короедов, в течение нескольких лет ставших причиной гибели ослабленных неблагоприятными погодными условиями сосновых насаждений на многих тысячах гектаров [3–4].



12.a – май



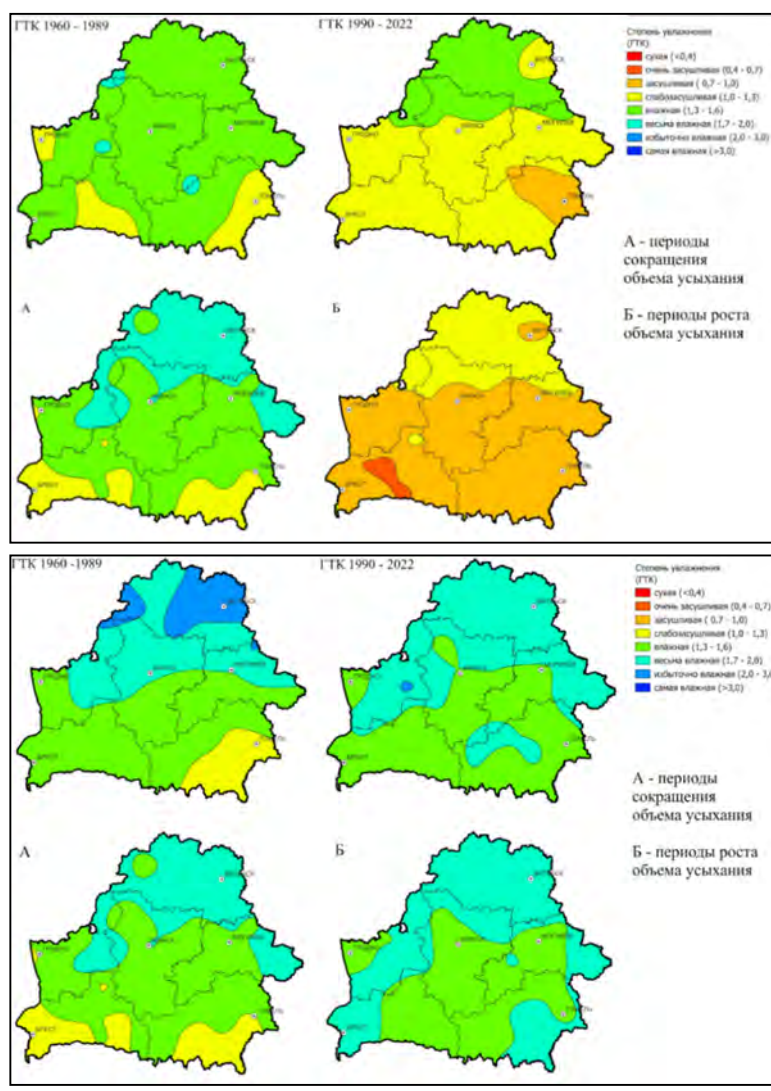
12.6 – июнь



12.в – июль

Рис. 12/1. Степень увлажнения (по среднегодовым ГТК) территории Беларуси в мае (12.а), июне (12.б), июле (12.в) до начала изменения климата (ГТК 1960–1989 гг.), в период его изменения (ГТК 1990–2022 гг.), в периоды сокращения (А) и роста (Б) объемов усыхания лесов

Fig. 12/1. The degree of moisture (according to the average long-term hydrothermal climate coefficient) of the territory of Belarus in May (12.a), June (12.б), July (12.в) before the onset of climate change (hydrothermal climate coefficient 1960–1989), during the period of its change (hydrothermal climate coefficient 1990–2022), during periods of reduction (А) and increase (Б) in the volume of forest drying out



12.г – август

12.д – сентябрь

Рис. 12/2. Степень увлажнения (по среднегодовым ГТК) территории Беларуси в августе (12.г) и сентябре (12.д) до начала изменения климата (ГТК 1960–1989 гг.), в период его изменения (ГТК 1990–2022 гг.), в периоды сокращения (А) и роста (Б) объемов усыхания лесов

Fig. 12/2. The degree of moisture (according to the average long-term hydrothermal climate coefficient) of the territory of Belarus in August (12.g) and September (12.d) before the onset of climate change (hydrothermal climate coefficient 1960–1989), during the period of its change (hydrothermal climate coefficient 1990–2022), during periods of reduction (А) and increase (Б) in the volume of forest drying out

Наиболее очевидно зависимость гибели лесов от климатических факторов проявляется в отношении усыхания ельников, имеющего псевдоциклический характер (см. рис. 4).

Для уточнения факторов влияющих на гибель хвойных лесов рассчитан непараметрический коэффициент корреляции Спирмена между площадями гибели (погодичного объема сплошных санитарных рубок) сосняков и ельников по лесозам страны и множеством факторов, оказывающих влияние на этот процесс. По результатам предварительного анализа из многих параметров для регрессионного анализа выбраны три наиболее значимых (табл. 3): сумма активных температур воздуха текущего года, сумма количества

дней с засухами за два предыдущих и текущий год, а также сумма полученных в ходе феромонного мониторинга средних значений численности вершинного и шестизубчатого короедов (для сосны) или короеда-типографа (для ели) за текущий и предыдущий годы. При этом днями с засухой считались периоды продолжительностью три и более дней с максимальной суточной температурой воздуха 25°C и выше при сумме осадков не более 1 мм в сутки.

Как оказалось, для сосны каждый из этих трех факторов определяет от 25 до 36% общей изменчивости масштабов усыхания её древостоев. Но поскольку между ними также существует довольно тесная корреляция, то интегрированный коэффи-

коэффициент множественной корреляции для площади сплошных санитарных рубок сосняков составил всего 0,577 при коэффициенте детерминации 0,333, т.е. в совокупности они объясняют 33,3% общей изменчивости масштабов усыхания сосняков.

Кроме того, относительно низкая продолжительность по времени усыхания сосняков Беларуси и их распространение преимущественно в южных регионах страны (рис. 13, также см. 6, 7) не позволили накопить достаточно данных для репрезентативной оценки процесса в связи с динамикой погодно-климатических параметров.

Для насаждений ели парные коэффициенты корреляции показали ещё менее значимые результаты (см. табл. 3): только суммарная численность отловленных в ловушках короедов за текущий и предыдущий год дала существенный результат, – 30,8% объясненной вариации усыхания

еловых древостоев. Для ельников коэффициент множественной корреляции составил 0,494 при детерминации 0,244 (24,4%). Это обусловлено тем, что в наиболее засушливых регионах Беларуси ели почти не осталось и кормовой ресурс короеда типографа почти исчерпан, что и накладывает ограничения на использование возможностей корреляционного анализа в отношении регионов с наиболее экстремальными погодно-климатическими проявлениями.

На это же указывает и продолжающееся сокращение масштабов гибели еловых древостоев в южных регионах Беларуси: Гомельской и Брестской областях, – после 2022 г. в крайне неблагоприятных для неё 2023 и 2024 гг., сопровождавшихся ростом усыхания в Минском и Могилевском государственных производственных лесохозяйственных объединениях (рис. 14).

Таблица 3. Парные коэффициенты корреляции Спирмена между площадью усыхания древостоев сосны и ели в лесхозах Беларуси и факторами воздействия на них (независимыми переменными)

Table 3. Paired Spearman correlation coefficients between the drying area of pine and spruce stands in forestry enterprises of Belarus and the factors influencing them (independent variables)

Площадь сплошных санитарных рубок	Независимые переменные корреляционного анализа			
	сумма активных температур текущего года	число дней с засухами за два предыдущих и текущий год	сумма средних значений численности короедов за текущий и предыдущий год	
			вершинного и шестизубчатого	типографа
в сосняках	0,609*	0,504*	0,530*	-
в ельниках	0,279*	0,346*	-	0,555*

* Корреляция значима на уровне 0,01.

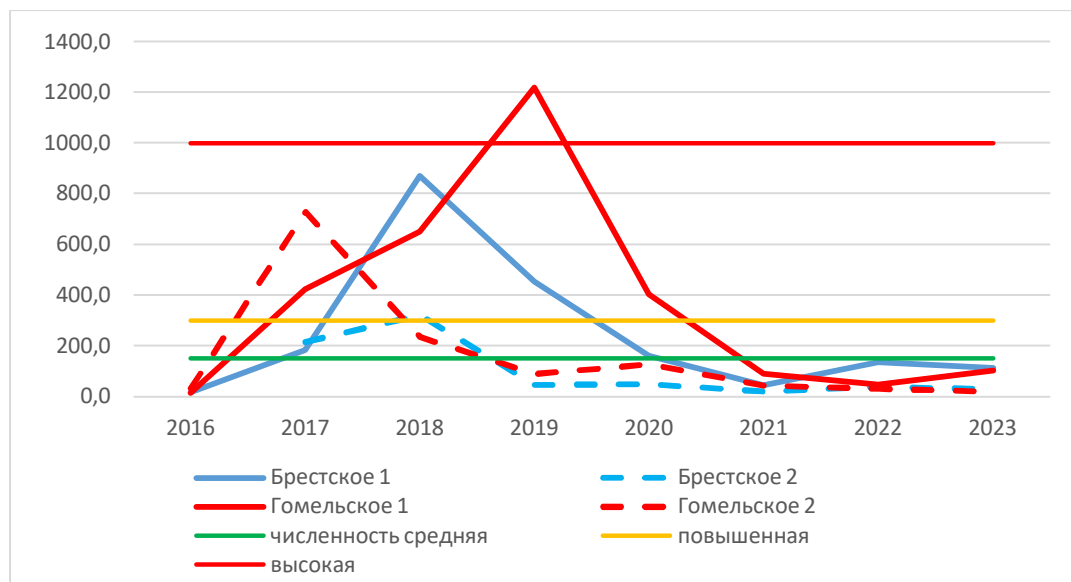


Рис. 13. Динамика средней численности 1 и 2 поколений вершинного короеда по Брестскому и Гомельскому ПЛХО в 2016–2023 гг. по данным феромонного мониторинга и уровни её оценки (средняя-повышенная-высокая), шт/ловушку

Fig. 13. Dynamics of the average number of 1st and 2nd generations of the apical bark beetle in the Brest and Gomel PLEN in 2016–2023 according to pheromone monitoring data and its assessment levels (average-increased-high), pcs/pheromone trap

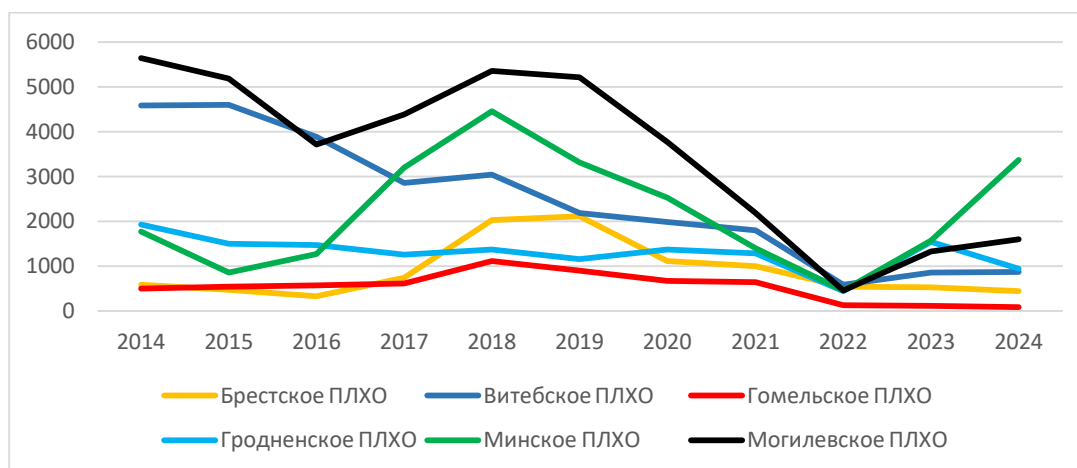


Рис. 14. Погодичная динамика объемов сплошных санитарных рубок в усыхающих ельниках по областям с 2014 по 2024 гг., га

Fig. 14. Annual dynamics of the volume of clear sanitary felling in drying spruce forests by region from 2014 to 2024, ha

Дальнейший анализ зависимости масштабов усыхания ели от гидротермического режима вегетационного сезона в целом и его отдельных месяцев за 4 года: текущий и 3 предшествующих, – позволил установить, что главными погодноклиматическими факторами усыхания ельников являются условия двух предшествующих лет. И в первую очередь гидротермические условия, описываемые гидротермическим коэффициентом Селянинова, в мае прошлого (детерминация 0,360) и мае позапрошлого (0,270) годов (табл. 4).

В многолетней и сезонной динамике засушливых явлений в регионах, подверженных массовому усыханию сосны и ели, также просматривается определенная зависимость гибели хвойных лесов от условий увлажнения (рис. 15).

Усыханию древостоев сосны предшествовали четыре подряд года (2013–2016 гг.) с суммарным количеством дней с засушливыми условиями от 35–40 (м/с Брест) до более 50 дней (м/с Брагин) за вегетационный сезон. При этом засухи имели большую продолжительность, охватывая почти

три месяца (июль, август и сентябрь) сезона вегетации. Севернее (м/с Борисов) количество засушливых периодов не превышало 35 дней за сезон, что в итоге не позволило распространиться процессу массового усыхания сосны далеко за границы Гомельской и Брестской областей, хотя южные лесхозы Минского и Могилевского ГПЛХО также серьезно пострадали в результате размножения вершинного и шестизубчатого короедов, вызванного погодными условиями 2013–2016 гг. и продолженного засухами 2018–2020 гг.

Засухи 2018–2020 гг. на юго-востоке Беларуси по продолжительности не уступали и даже превосходили четырехлетку 2013–2016 гг. Именно на 2018 и 2019 гг. пришлось по данным феромонного мониторинга максимальная численность вершинного короеда (см. рис. 13), основного стволового вредителя сосновых лесов, а также наибольшие масштабы гибели сосняков в лесхозах Гомельского ГПЛХО (см. рис. 7). На севере страны продолжительность засушливых периодов почти не выходила за пределы 30 дней за

Таблица 4. Зависимость площади усыхания еловых насаждений от условий увлажнения текущего и предыдущих 3 лет

Table 4. Dependence of the drying area of spruce stands on the moisture conditions of the current and previous 3 years

Годы оценки	Парные коэффициенты корреляции между площадью усыхающих ельников и гидротермическими коэффициентами Селянинова за вегетационный сезон (май–сентябрь) и его отдельные месяцы					
	май–сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь
Текущий год	-0,18±0,177	-0,16±0,178	-0,09±0,181	-0,00±0,182	-0,18±0,177	-0,28±0,168
- 1 год	-0,60*±0,124	-0,60*±0,118	-0,21±0,175	-0,00±0,182	-0,31±0,164	-0,15±0,178
- 2 года	-0,52*±0,132	-0,52*±0,133	-0,07±0,181	-0,05±0,182	-0,23±0,173	+0,03±0,182
- 3 года	-0,24±0,172	-0,24±0,172	+0,04±0,182	+0,21±0,175	-0,22±0,174	+0,25±0,171

* Корреляция значима на уровне 0,01.

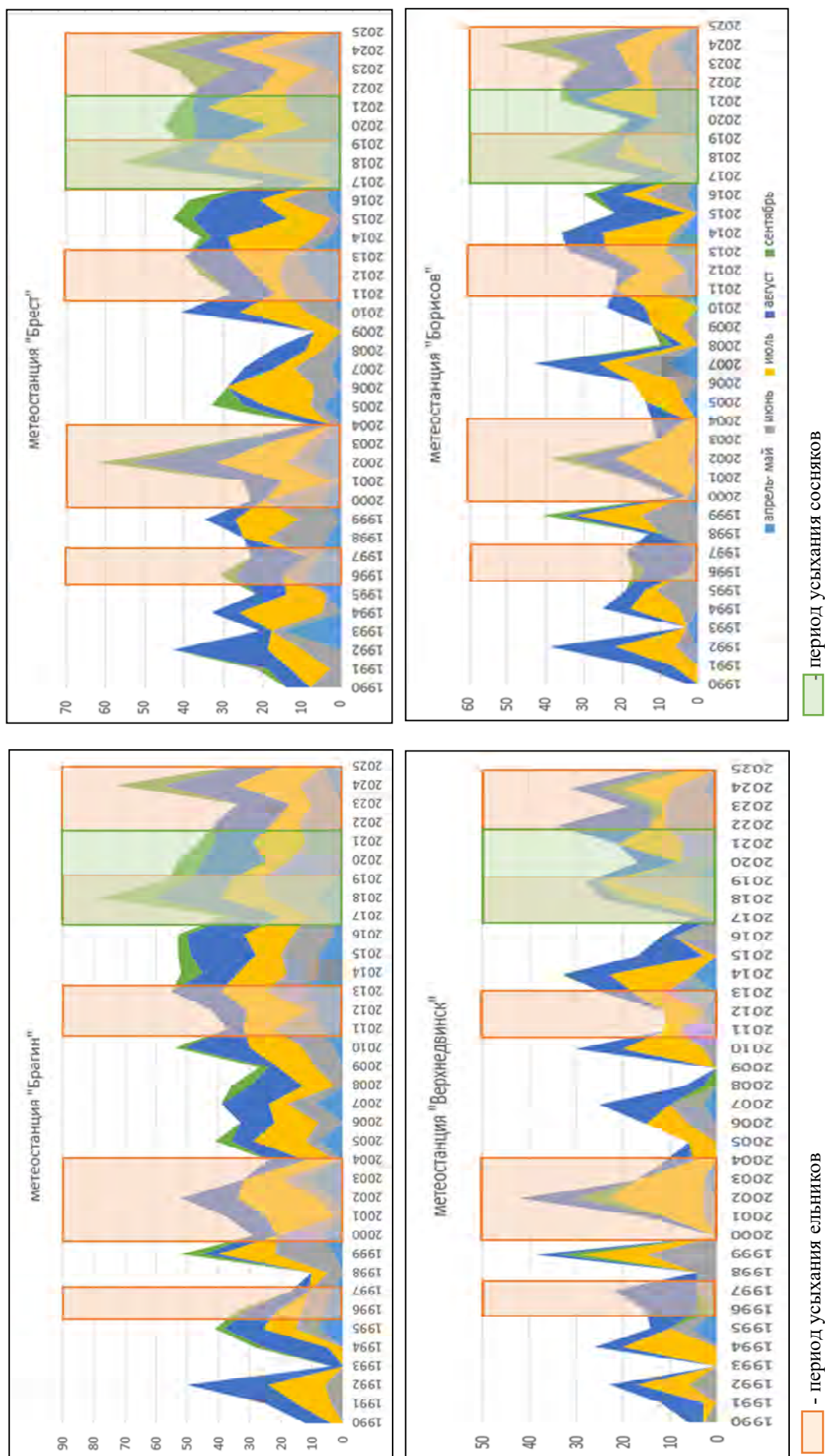


Рис. 15. Динамика числа дней засушливых периодов с 1990 по 2025 гг. по месяцам в климатически контрастных регионах зоны усыхания насаждений сосны и ели в Беларуси: на юго-востоке (м/с Брагин), юго-западе (м/с Брест) и севере (м/с Борисов и Верхнедвинск)

Fig. 15. Dynamics of the number of days of dry periods from 1990 to 2025 by month in climatically contrasting regions of the drying zone of pine and spruce stands in Belarus: in the southeast (weather station Bragin), southwest (weather station Borisov) and north (weather station Brest and Verkhnedvinsk)

вегетационный сезон, и это не сформировало предпосылок для климатически детерминированного усыхания сосняков.

Рекордно засушливый сезон 2024 г. не привел к росту масштабов усыхания сосны в лесах Беларуси, объем усыхания по стране в целом уменьшился в 1,9 раза. Хотя рост численности I поколения вершинного короеда по сравнению с 2023 г. имел место в лесном фонде 44 лесхозов и 7 других юридических лиц, ведущих лесное хозяйство [9]. В дальнейшем в 2025 г. в связи с существенным улучшением погодно-климатических условий (увеличение количества осадков при умеренных температурах) численность вредителя в сосняках не выросла.

Усыхание ельников не требует столь значительной «гидротермической подготовки». Периоды массовой гибели ели наступают уже после двух лет, экстремальных для неё и оптимальных для развития массового размножения типографа.

Массовому усыханию ели в 1996–1997 гг. предшествовали засухи 1994 и 1995 гг., усыханию 2000–2004 гг. – засухи 1999, 2000 гг. и продолжившая их засуха 2002 г., усыханию 2011–2013 гг. засуха 2010 г. и продолжившие её черед засухливых 2012–2016 лет, усыханию 2023–2025 гг. предшествовали засухливые 2021 и 2022 гг., а на юге страны этот период не прекращался, начиная с 2018 г. вплоть до 2024 г. (см. рис. 15).

При этом риск формирования очагов массового размножения короеда-типографа и, соответственно, очагов усыхания ельников возникает уже при засухливых 30 днях в течение предшествующего этим событиям года. И почти всегда в общем числе засухливых дней значительна доля засух мая (см. рис. 15), стимулирующих формирования очагов массового размножения короеда-типографа [5].

Кроме собственно засухливых явлений, одним из ключевых климатических показателей, определяющих потенциальную продуктивность, устойчивость и естественную распространённость древесных пород в пределах их природного ареала является сумма активных температур (САТ). Показатель САТ, характеризующий суммарное тепло, накопленное за вегетационный период выше порога $+10^{\circ}\text{C}$, позволяет определить потенциал произрастания древесных пород, их продуктивность и устойчивость к климатическим изменениям [10]. В условиях Беларуси, расположенной в зоне умеренно-континентального климата, даже относительно небольшие сдвиги теплового режима могут приводить к заметным изменениям структуры лесов, смещению ареалов пород, а также изменению их конкурентных отношений.

В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция роста САТ во всех регионах страны [11–13]. И, если в 1990-е гг. большинство административных областей находилось преимущественно в пределах оптимальных тепловых диапазонов для сосны и ели, то к периоду 2012–2024 гг. значительная часть территорий перешла в диапазон выше верхних границ оптимума для этих пород. Это требует переосмысления подходов к лесовосстановлению, лесоразведению и прогнозированию породного состава лесов.

Анализ соответствия фактических значений САТ климатическим оптимумам (табл. 5) выполнен по сосне и ели на территории Беларуси для трех временных периодов: 1990–2000, 2001–2011 и 2012–2024 гг., с учётом пространственной дифференциации САТ по территории страны – по административным областям (табл. 6).

Для сосны обыкновенной оптимум САТ находится в диапазоне $1800\text{--}2600^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$ (см. табл. 5). В Брестской области средняя САТ уже в 1990–2000 гг. составляла $2555^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$, что было близко к верхней границе оптимального диапазона для сосны обыкновенной. В период 2001–2011 гг. тепловой ресурс увеличился до 2704, а в 2012–2024 гг. — до $2892^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$, что уже превышает оптимум примерно на 300 единиц. Это указывает на переход региона в более тёплый климатический режим, потенциально снижающий конкурентоспособность сосны в отдельных типах лесорастительных условий и повышающих риски её выращивания. Ещё более драматичная тенденция наблюдается в Гомельской области: $2556 \rightarrow 2776 \rightarrow 2950^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$. Здесь выход за оптимум ещё более существенный. В Гродненской, Минской и Могилёвской областях значения САТ также растут, но превышение верхней границы пока не столь значительно (см. табл. 6). При этом диапазон теплообеспеченности, приемлемый для сосны по общеевропейской шкале ($3200^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$) пока не превышен ни в одной из областей Беларуси (см. табл. 5), по крайней мере для 10–12-летних периодов осреднения.

Витебская область остаётся единственным регионом, где сосна продолжает находиться в пределах или близко к верхней границе регионального оптимума ($2223 \rightarrow 2416 \rightarrow 2510^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$), что подтверждает её высокую экологическую пригодность для северных районов страны.

Оптимум САТ для ели европейской 1900–2400. Ель – яркий индикатор реакции лесов на потепление климата. В Брестской области САТ уже в 1990-х составляла $2555^{\circ}\text{C}\cdot\text{дн}$, что превышало оптимум для её произрастания. В дальнейшем превышение увеличилось до 2704 и

2892°C·дн. В Гомельской области ситуация аналогична: САТ устойчиво находится выше оптимального диапазона, особенно после 2010 г. (см. табл. 6). Это свидетельствует о весьма неблагоприятных тепловых условиях для ели на юге страны, что подтверждается усилением процесса усыхания в последние годы.

В остальных областях (Гродненская, Минская, Могилёвская) наблюдается постепенный выход за верхний предел оптимума для ели к пе-

риоду 2012–2024. Единственным регионом, где климат остаётся приемлемым для ели, является Витебская область: 2223 → 2416 → 2510°C·дн. Однако даже здесь современные значения приближаются к предельным, а в отдельные годы переходят и за него (см. табл. 6).

Все это дает основание для пересмотра стратегии лесовосстановления и лесовыращивания практически на всей территории Республики Беларусь, адаптации породного состава лесов.

Таблица 5. Предельные и оптимальные диапазоны САТ (сумм активных температур) для произрастания сосны обыкновенной и ели европейской на территории Европы и Республики Беларусь [14–16]

Table 5. Limit and optimal ranges of SAT (sums of active temperatures) for the growth of Scots pine and European spruce in Europe and the Republic of Belarus [14–16]

Порода	Европа – диапазон САТ, °С	Беларусь – оптимум САТ, °С
Сосна обыкновенная	800–3200	1 800–2 600
Ель европейская	900–2600	1 900–2 400

Таблица 6. Динамика среднепериодических годовых сумм активных температур (САТ) по административным областям Беларуси

Table 6. Dynamics of average periodic annual sums of active temperatures (SAT) by administrative regions of Belarus

Область	Средние значения сумм активных температур (САТ), °С·дн		
	1990–2000 гг.	2001–2011 гг.	2012–2024 гг.
Витебская	2223	2416	2510
Могилевская	2308	2522	2642
Минская	2384	2549	2697
Гродненская	2344	2524	2694
Брестская	2555	2704	2892
Гомельская	2556	2776	2950

Примечание: Расчёт средних значений САТ выполнен на основе данных 43 ключевых метеостанций страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расположенные в переходной полосе между Евразийской таёжной (хвойно-лесной) и Европейской неморальной (широколиственно-лесной) зонами леса Беларуси в условиях изменения (потепления и иссушения территорий) климата стали ареной радикальных изменений, сопровождающихся массовыми ветровалами, буреломами, усыханием насаждений прежде всего сосны и ели.

На территории страны четко выявляется пояс значительных рисков выращиванию еловых насаждений от южной границы её сплошного распространения и до северных пределов Гродненской, Минской и Могилевской областей. В отношении сосны наиболее негативная ситуация

сложилась в юго-восточном регионе, где она доминирует в составе лесного фонда и где климатические изменения создают условия для развития вспышек массового размножения вредителей этой древесной породы.

Гибель лесов имеет довольно четкую периодичность с повторяемостью циклов около 7 лет, однако и между максимумами масштабы усыхания ели, а также массовых ветровалов древостоев всех лесных формаций остаются весьма значительными.

В связи с этим необходимы разработка и реализация мер по адаптации лесного фонда к климатическим угрозам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров, Н. И. Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим массовым усыханием / Н. И. Федоров, В. В. Сарнацкий ; [Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича Нац. акад. наук Беларуси и др.]. – Мн. : Тэхналогія, 2001. – 180 с.
2. Сарнацкий, В. В. Ельники. Формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси / В. В. Сарнацкий. – Мн. : Тэхналогія, 2009. – 334 с.
3. Усеня, В. В. Влияние биотических и абиотических факторов на динамику усыхания сосновых насаждений в Республике Беларусь / В. В. Усеня, Г. М. Помаз, Е. П. Клименков // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / Ин-т леса Нац. акад. наук Беларуси. – Гомель, 2024. – Вып. 84. – С. 267–278.
4. Сазонов, А. А. Короедное усыхание сосны – всё! Что дальше? / А. А. Сазонов // Сохранение и рациональное использование биологических ресурсов в системе устойчивого лесопользования : материалы междунар. научно-практ. конф., Гомель, 27–29 сент. 2022 г. / Ин-т леса Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: А. И. Ковалевич [и др.]. – Гомель : Ин-т леса НАН Беларуси, 2022. – С. 347–350.
5. Маслов, А. Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов / А. Д. Маслов. – М. : ВНИИЛМ, 2010. – 138 с.
6. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата [Электронное издание удаленного доступа] / В. И. Мельник, Н. В. Клевец, Ю. А. Громыко [и др.]. – Минск-Женева, 2017. – URL: minpriroda.gov.by (дата обращения: 06.08.2026).
7. Логинов, В. Ф. Изменения климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Мн. : УП «Энциклопедикс», 2020. – 264 с.
8. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата / В. Ф. Логинов. – Санкт-Петербург : ООО «Издательство «Лема», 2024. – 267 с.
9. Обзор лесопатологического и санитарного состояния лесного фонда Республики Беларусь за 2025 год и прогноз развития патологических процессов в 2026 году / С. А. Жданович, С. С. Марцута, А. С. Зур [и др.] ; Гос. учреждение по защите и мониторингу леса «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА». – аг. Ждановичи, 2026. – 108 с.
10. Сумма активных температур : [сайт] // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сумма_активных_температур (дата обращения: 11.05.2026).
11. Брилевский, М. Н. География Беларуси. Природные условия и ресурсы / М. Н. Брилевский, Г. С. Смоляков. – Мн. : Народная асвета, 2012. – 303 с.
12. Климатическое районирование Республики Беларусь [Электронное издание удаленного доступа] // Министерство образования Республики Беларусь. PDF-репозиторий БГПУ. – URL: bspu.by (дата обращения: 06.08.2026).
13. Агроклиматические области Беларуси : [сайт] // Википедия : свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Агроклиматические_области_Беларуси (дата обращения: 11.05.2026).
14. European forest types: classification and ecological drivers : [сайт] / FOREST EUROPE. – URL: <https://forest-europe.org> (дата обращения: 11.05.2026).
15. Projecting Tree Species Composition Changes of European Forests / A. Buras, C. S. Zang, R. Menzel [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 9. – P. 1–13.
16. Shifts in native tree species distributions in Europe under climate change / M. K. Dyderski, S. Paź, L. E. Frelich [et al.] // Global Change Biology. – 2024. – Vol. 30, No. 1. – P. 15–32.

Поступила в редакцию 15.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пугачевский Александр Викторович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией проблем экологии леса и дендрохронологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Мандрык Аделанда Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии, младший научный сотрудник сектора экоинформатики Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Игнатьев Ярослав Константинович – научный сотрудник лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Жданович Сергей Анатольевич – директор Государственного учреждения по защите и мониторингу леса «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА»

Климатически детерминированные процессы гибели хвойных лесов Беларуси в условиях глобального потепления / А. В. Пугачевский, А. В. Мандрык, Я. К. Игнатьев, С. А. Жданович // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 84–101.

МОНИТОРИНГ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА VEGETATION MONITORING

УДК 504.064.36:574

А. В. СУДНИК¹, Н. Д. ГРИЩЕНКОВА¹, И. П. ВОЗНЯЧУК¹, К. Л. САВИЦКАЯ¹,
О. М. МАСЛОВСКИЙ¹, И. В. БОРДОК², И. В. МАХОВИК², Т. С. ПОЛЯЧОК¹,
В. М. ЛАПИЦКИЙ¹, Р. М. ГОЛУШКО¹

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ И ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА БЕЛАРУСИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА

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

²*Институт леса Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь*

Аннотация. В статье обобщены результаты мониторинга растительного мира Республики Беларусь за пятилетний цикл наблюдений (2021–2025 гг.) в рамках функционирования Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС). Проанализирована динамика состояния объектов растительного мира по семи направлениям наблюдений: лугово-болотной и водной растительности, популяций ресурсообразующих, охраняемых и инвазивных видов растений, а также защитных и городских зеленых насаждений. Установлены системные закономерности трансформации растительности, обусловленные климатическими изменениями, направленностью сукцессионных процессов и возрастающим антропогенным прессом. На основе выявленных трендов представлена прогнозная оценка состояния растительного мира и сформулированы стратегические приоритеты по минимизации экологических рисков и сохранению биологического разнообразия.

Ключевые слова: мониторинг растительного мира (МРМ), лугово-болотная растительность, водная растительность, охраняемые, ресурсообразующие, инвазивные виды растений, защитные и городские зеленые насаждения, состояние, динамика, прогноз.

A. V. SUDNIK¹, N. D. HRYSHCHANKAVA¹, I. P. VOZNYACHUK¹, K. L. SAVITSKAYA¹,
O. M. MASLOVSKY¹, I. V. BORDOK², I. V. MAKHOVIK², T. S. POLYACHOK¹,
V. M. LAPITSKY¹, R. M. GOLUSHKO¹

MAIN TRENDS OF CHANGES AND FORECASTING OF BELARUS'S VEGETATION STATE: MONITORING-BASED INSIGHTS

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

²*Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus*

Abstract. The article summarizes the results of vegetation monitoring in the Republic of Belarus over a five-year cycle (2021–2025) within the framework of the National Environmental Monitoring System. The dynamics of state of flora objects in seven directions of observation is analyzed: meadow-mire and aquatic vegetation, populations of resource-forming, protected and invasive plant species, protective and urban green plantings. Systemic patterns of vegetation transformation have been established due to climatic changes, the direction of successional processes and the increasing anthropogenic pressure. Based on the identified trends, a forecast assessment of the state of flora objects is presented and strategic priorities for minimizing environmental risks and preserving biological diversity are formulated.

Keywords: vegetation monitoring, meadow-mire vegetation, aquatic vegetation, protected, resource-forming, invasive plant species, protective and urban green plantings, state, dynamics, forecast.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные экологические вызовы и нарастающая антропогенная трансформация биосферы диктуют необходимость непрерывного научного контроля за состоянием природной среды. В этой системе растительный мир выступает базовым индикатором устойчивости экосистем, определяющим их ресурсный и средообразующий потенциал. В Республике Беларусь стратегический контроль экологических процессов реализуется через Национальную систему мониторинга окружающей среды (далее – НСМОС), функционирование которой является фундаментом государственной политики в области экологической безопасности и устойчивого природопользования (Закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», статья 7) [1].

Мониторинг растительного мира (далее – МРМ) является одним из направлений НСМОС [2]. Он представляет собой целостную взаимосвязанную упорядоченную систему наблюдений за состоянием, динамикой основных категорий объектов растительного мира и среды их произрастания, прогнозирования их изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. Важнейшей функцией этого вида мониторинга является своевременное выявление негативных тенденций изменения состояния флоры, растительности и ресурсов растительного мира для разработки и обоснования комплекса мероприятий по снижению уровня антропогенного воздействия, предотвращению расширения зон экологического риска, обеспечения государственных органов, заинтересованных юридических лиц и общественности полной, достоверной и своевременной информацией в области сохранения и рационального использования ресурсов растительного мира.

Проведение МРМ закреплено за Национальной академией наук Беларуси в соответствии с Законом Республики Беларусь «О растительном мире» (статья 67), Положением о порядке проведения мониторинга растительного мира и использования его данных (постановление Совета

Министров Республики Беларусь от 14.04.2004 № 412) [2, 3].

За период своего существования, начиная с 1998 г., система МРМ прошла путь структурной оптимизации. Изначально МРМ включал систему наблюдений за состоянием только лесной, водной и луговой растительности. В ответ на новые экологические вызовы и требования национального законодательства современный облик МРМ сформировался в результате интеграции ряда специализированных направлений: оценки состояния охраняемых и ресурсообразующих видов (с 2006 г.), защитных и городских зеленых насаждений (с 2007 г.), а также контроля распространения инвазивных растений (с 2011 г.). Проведение мониторинга лесов возложено на Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. Разграничение полномочий позволило сосредоточить усилия профильных ведомств на специфических объектах, обеспечив при этом комплексность общенационального экологического прогноза [4, 5].

Успешное функционирование МРМ и развитие сети пунктов наблюдений стали результатом широкой научной кооперации. Ведущая роль в этом процессе принадлежит Институту экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, координирующему взаимодействие с региональными вузами, научными центрами и государственными природоохранными учреждениями. Единый методологический подход и унификация оценочных показателей гарантируют высокую репрезентативность, преемственность и сопоставимость данных, полученных в различных регионах и временных интервалах.

В настоящей статье представлены обобщенные результаты МРМ за период 2021–2025 гг. Подведены итоги реализации пятого цикла мониторинговых наблюдений, отражающие актуальные тренды трансформации растительного мира Беларуси и прогноз его развития в среднесрочной перспективе.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методологической основой проведения МРМ в составе НСМОС являются Инструкция и Методика, утвержденные постановлениями (Президиума НАН Беларуси № 52 от 12.10.2012 и Бюро Президиума НАН Беларуси № 405 от 27.07.2009, соответственно). Данные документы устанавливают порядок проведения работ, количество и места расположения пунктов наблюдений, технологию работ по организации и проведению,

перечень обязательных параметров наблюдений, определяют организации, осуществляющие мониторинг, порядок и сроки представления мониторинговой информации [6, 7].

Мониторинг растительного мира проводится по 7 направлениям:

– мониторинг луговой и лугово-болотной растительности (112 пунктов наблюдения, включающих 526 постоянных пробных площадей (далее – ППП));

– мониторинг водной растительности (91 пункт, из которых 46 – на озерах, 5 – на водохранилищах, 40 – на водотоках);

– мониторинг охраняемых видов растений и грибов (254 пункта, контролирующих состояния 120 видов);

– мониторинг ресурсообразующих видов растений и грибов (40 пунктов и дополнительно ежегодно обследуется 280–330 временных пробных площадок (далее – ВПП));

– мониторинг инвазивных видов растений (115 пунктов, контролирующих распространения 20 видов);

– мониторинг защитных древесных насаждений (169 пунктов, из которых 155 – на землях сельскохозяйственного назначения, 14 – вдоль автомобильных дорог;

– мониторинг зеленых насаждений на землях населенных пунктов (54 пункта в 3 городах).

Объекты наблюдений МРМ – дикорастущие растения, образованные ими популяции, растительные сообщества или насаждения, находящиеся в их естественной среде произрастания (за исключением лесов), а также выращиваемые и используемые в целях озеленения и иных средообразующих, водоохраных, защитных целях (за исключением культивируемых сельскохозяйственных и декоративных растений) [6].

Наблюдения проводятся с периодичностью от 1 до 5 лет в зависимости от состояния наблюдаемого объекта, его природоохранной важности и необходимости в оперативной информации [6].

Пунктами наблюдений МРМ являются постоянные пункты наблюдений (далее – ППН), ключевые участки (далее – КУ) и мониторинговые маршруты, соответствующим образом оборудованные, задокументированные и обозначенные на местности [6]. Совокупность пунктов наблюдений по каждому из направлений МРМ образует сеть мониторинга по данному направлению, а совокупность сетей всех направлений – сеть МРМ Республики Беларусь. Количество и местонахождение пунктов наблюдений МРМ определяются отдельно по каждому направлению мониторинга, исходя из целей, задач и потребностей в информации по соответствующему направлению МРМ.

По состоянию на 01.01.2026 сеть МРМ насчитывает 835 пунктов, включенных в Государственный реестр пунктов наблюдений НСМОС. Всего за период 2021–2025 гг. обследовано 288 пунктов наблюдений сети МРМ (518 обследований). На основе полученных данных проведена комплексная оценка текущего состояния объектов растительного мира и среды их произрастания, выявлены тренды их трансформации и разработан научно обоснованный прогноз развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг луговой и лугово-болотной растительности

В 2021–2025 гг. проведен на 229 ППП 49 КУ во всех областях Беларуси и г. Минске.

По данным реестра земельных ресурсов Республики Беларусь [8] за последние 10 лет усугубилась проблема потери лугов как категории земель – их площадь сократилась на 16,3% (с 2783,6 до 2331,3 тыс. га). Снизилась и площадь болот (с 823,5 до 723,5 тыс. га или на 12,1%). Это связано с изменением климата и сопутствующими процессами, а также с хозяйственным освоением данных территорий. Кроме того, из-за нарушения традиционного землепользования луга и низинные болота покрываются древесно-кустарниковой растительностью (площадь которой увеличилась с 768,3 до 1016,4 тыс. га – на 32,3%).

Согласно результатам мониторинга луговой и лугово-болотной растительности, в 2021–2025 гг. повысилась степень проявления негативного воздействия преимущественно антропогенных факторов на луговые сообщества. Отмечено сходство механизмов действия антропогенных техногенных факторов, перевыпаса скота, избыточности сенокосения либо длительного неис-

пользования лугов – во всех случаях динамика состава сообществ направлена в сторону монодоминирования наиболее тривиальных, антропоустойчивых видов флоры Беларуси, часто из групп злаков (например, *Calamagrostis epigeios*) и разнотравья. При полном снятии сенокосно-пастбищного режима нередко наблюдается классическая триада процессов (повышение обилия деревьев и кустарников, накопление опада, бурьянизация и (или) адвентизация фитоценозов).

Весьма часто отмечается расширение селитебных зон и преобразование лугов в пашню. Дополнение сенокосного режима мероприятиями по улучшению лугов, предполагающими распашку или иное нарушение целостности почвы, приводит к исчезновению из состава сообществ типичных аборигенных луговых видов и внедрению адвентивных или унификации видового состава травянистых растений в центральной части пойм рек, сопровождающейся потерей фитоценотического разнообразия. Одним из направлений динамики структуры фитоценозов лугов при возрастании антропогенной нагрузки является

замещение доминирующих в них низовых злаков высокорослыми.

Установлена зависимость динамики луговых сообществ от локализации в пойме крупных рек: их стабильность по видовому составу и продуктивности в прирусловой зоне (при условии отсутствия рекреационной и пастбищной нагрузки), унификация – в центральной части, полная или значительная деградация – в притеррасной зоне под влиянием сельскохозяйственной деятельности человека. При продолжительно низкой влагообеспеченности почв (снижении уровня грунтовых вод) вблизи крупных озер наблюдается уменьшение общего проективного покрытия, видового богатства, а также продуктивности травостоя фитоценозов.

Видовое богатство и состав сообществ. Среднее число видов, приходящееся на одну ППП во временном промежутке 2016–2020 гг. составило 25,6, в 2021–2025 гг. – 24,0, т.е. наблюдается плавное снижение локального разнообразия луговых растений. Комплексы регионально редких, охраняемых, аборигенных, не относящихся к апофитам, видов луговых растений сохраняются преимущественно внутри крупных малоиспользуемых слабонарушенных пойменных экосистем, чаще окруженных лесами или удаленных от источников антропогенного воздействия, где им угрожают лишь относительно медленно протекающие природные сукцессии. Данные территории (биотопы) имеют наибольшее значение в сохранении разнообразия многих луговых растений Беларуси.

Фитоценотическое разнообразие растительности. В 2016–2020 гг. представлено 55 ассоциациями луговой растительности, в 2021–2025 гг. – 48 и 4 сообществами. По частоте встречаемости в предшествующий период наблюдений первые три позиции занимали фитоценозы с доминированием апофитных видов злаков с широкой экологической амплитудой и наиболее стабильные гигрофильные сообщества: *Festucetum rubrae*, *Festucetum pratensis*, *Caricetum gracilis*, во второй – образованные только злаками, причем преимущественно более высокорослыми – *Festucetum pratensis*, *Festucetum rubrae*, *Dactylidetum glomeratae*. В плане динамики луговой растительности Беларуси эти короткие последовательности весьма показательны.

Кроме того, увеличилась частота встречаемости некоторых ксеротермных (*Caricetum praecox*) и пустошных (*Calamagrostidetum epigeji*) ценозов, а также сообществ с доминированием чужеродных видов (*Festucetum arundinaceae*, *Solidagietum canadensis*). Не регистрировались в 2021–2025 гг. такие традиционно редко встреча-

ющиеся в стране ассоциации, как *Trifolietum montani*, *Festucetum arietinae*, *Koelerietum delavignei*, *Caricetum elatae*. В настоящее время их следует считать одними из наименее конкурентоспособных и уязвимых типов растительных сообществ республики.

Объем и соотношение различных агроботанических групп растений в сообществах. Луга Беларуси относятся по соотношению видов агроботанических групп растений к разнотравно-злаковому типу. Зафиксировано снижение среднего числа видов, входящих в данные группы, в сообществах лугов страны (кроме бобовых). Количество видов бобовых обычно также снижается в инвазированных или длительно (более 10 лет) неиспользуемых фитоценозах. Особенно резко за последний период снизилось количество осоковых.

Однако известно множество частных случаев динамики числа видов в разных группах внутри сообществ, иллюстрирующих отклонение от общей тенденции. Так, интенсивная пастбищная нагрузка сдвигает равновесие в соотношении видов агроботанических групп в сторону бобовых, а проективного покрытия – в сторону разнотравья, что в результате может приводить к снижению кормовой ценности травостоев.

Продуктивность травостоев и их кормовая оценка. Продуктивность сообществ обусловлена комплексом факторов и изменялась в зависимости от видового состава трав и соотношения их обилий, покрытия деревьев и кустарников, состояния фитоценозов и особенностей их хозяйственного использования. Часто наблюдалось как повышение, так и снижение продуктивности травостоев. Несмотря на нередко фиксируемые частные случаи увеличения кормовой ценности травостоев, основной тенденцией является ее снижение (на 1–2 класса для отдельных фитоценозов) (рис. 1).

Если в 2016–2020 гг. главные позиции в соответствующем спектре занимали луговые сообщества II и I классов, то в 2021–2025 гг. – II и III. Основные причины: а) снижение числа видов и покрытия злаков и, особенно, бобовых при одновременном увеличении разнообразия и фитоценотической значимости разнотравья, среди видов которого гораздо больше малоценных в кормовом отношении и даже ядовитых видов трав по сравнению с первыми двумя агроботаническими группами растений; б) смена доминантов сообществ на менее ценные в кормовом отношении (в ходе сукцессий, вызванных различными причинами, в т.ч. внедрением инвазивных видов).

Хозяйственный тип луговых угодий. Структура хозяйственных типов луговых угодий в целом сохраняется, но отмечается сокращение пло-

падаей болотистого и сыролугового типов на фоне распространения настоящелугового, остепненнолугового и пустошного, что связано с изменением климата. Также увеличивается доля агрофитоценозов антропогенного генезиса (рис. 2).

Прогноз изменений состояния луговой и лугово-болотной растительности. На основании данных мониторинга, полученных за период 2021–2025 гг., в ближайшие годы прогнозируется (табл. 1):

- продолжится сокращение площадей луговых земель в республике (в среднем около 1,6% в год) при ухудшении состояния луговых фитоценозов (частичная или полная деградация, синантропизация, изменения структуры);
- будут исчезать регионально редкие и охраняемые виды луговых растений из сообществ в составе нарушенных экосистем вблизи селитебных

территорий, мелкоконтурных или нерационально используемых лугов, а также после временного, даже однократного перевода сенокосов в пашни;

– продолжит снижаться видовое богатство фитоценозов даже с учетом дополнения их адвентивными видами и апофитами, а также разнообразие луговых растений на локальном уровне;

– будут уменьшаться площади болотистого и сыролугового типов луговых угодий и увеличиваться – настоящелугового, остепненнолугового и пустошного;

– усилится ксерофитизация растительности пойм крупных рек, и ранее наиболее стабильные гигрофильные фитоценозы межгрядных пойменных понижений (например, с доминированием осоки острой *Carex acuta*) сменятся следующим типом серийных сообществ в эколого-динамическом ряду, отражающем нарастание сухости почвы;



Рис. 1. Временные изменения в количественном соотношении фитоценозов разных классов кормовой ценности в составе луговой растительности Беларуси

Fig. 1. Temporary changes in quantitative ratio of phytocenoses of different classes of forage value in composition of meadow vegetation of Belarus

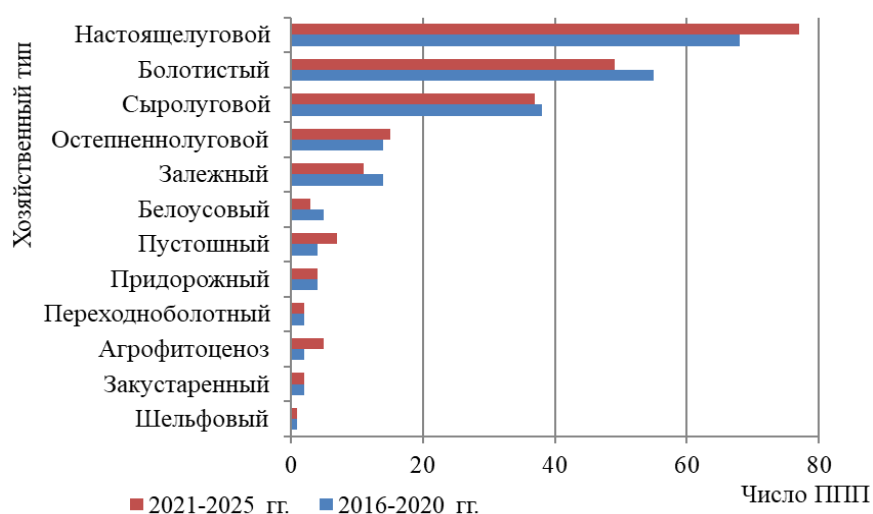


Рис. 2. Динамика структуры типов луговых угодий Беларуси

Fig. 2. Dynamics of the structure of types of grasslands in Belarus

Таблица 1. Представленность в разные временные периоды и прогноз частоты встречаемости различных типов фитоценозов на ключевых участках мониторинга**Table 1.** The presence in different time periods and forecast of the frequency of occurrence of various types of phytocenoses on plots

№ п/п	Ассоциация	Число сообществ				
		2016–2020 гг.		2021–2025 гг.		2026–2030 гг.
		абс.	%	абс.	%	абс.
1	<i>Festucetum rubrae</i>	20	10,2	16	8,4	↑
2	<i>Festucetum pratensis</i>	15	7,7	18	9,5	↔
3	<i>Caricetum gracilis</i>	11	5,6	10	5,3	↓
4	<i>Alopecuretum pratensis</i>	10	5,1	7	3,7	↑
5	<i>Phalaridetum arundinaceae</i>	10	5,1	10	5,3	↔
6	<i>Poetum angustifoliae</i>	10	5,1	11	5,8	↑
7	<i>Deschampsietum caespitosae</i>	9	4,6	7	3,7	↑
8	<i>Bromopsidetum inermis</i>	8	4,1	8	4,2	↑
9	<i>Filipenduletum ulmariae (Filipenduletum denudatae)</i>	8 (0)	4,1	7 (3)	5,3	↑
10	<i>Poetum pratensis</i>	8	4,1	2	1,1	↓
11	<i>Acoretum calami</i>	6	3,1	5	2,6	↓
12	<i>Glycerietum aquaticae</i>	6	3,1	5	2,6	↓
13	<i>Phragmitetum communis</i>	6	3,1	7	3,7	↔
14	<i>Dactylidetum glomeratae</i>	5	2,6	12	6,3	↑
15	<i>Scirpetum silvatici</i>	5	2,6	3	1,6	↔
16	<i>Convolvulo-Agropyretum repentis</i>	4	2	2	1,1	↑
17	<i>Anthriscetum sylvestris</i>	3	1,5	1	0,5	↓
18	<i>Arrhenateretum elatioris</i>	3	1,5	3	1,6	↑
19	<i>Calamagrostidetum epigeji</i>	3	1,5	5	2,6	↑
20	<i>Festucetum arundinaceae</i>	3	1,5	5	2,6	↑
21	<i>Lupinetum polyphylli</i>	3	1,5	2	1,1	↑
22	<i>Nardetum strictae</i>	3	1,5	2	1,1	↓
23	<i>Polygonetum bistortae</i>	3	1,5	1	0,5	↓
24	<i>Agrostidetum stoloniferae</i>	2	1	0	0	↔
25	<i>Caricetum caespitosae</i>	2	1	1	0,5	↓
26	<i>Caricetum praecocis</i>	2	1	5	2,6	↑
27	<i>Juncetum effusi</i>	2	1	1	0,5	↓
28	<i>Plantaginetum majoris</i>	2	1	2	1,1	↔

Примечание: ↓ – снижение частоты встречаемости, ↑ – увеличение, ↔ – стабильный уровень.

– продолжают возрастать площади широко пространственных ксеротермных фитоценозов за счет вытеснения более редких остепненных сообществ, встречающихся только на юге республики;

– интенсифицируются сукцессии растительного покрова КУ, появятся больше переходных, не типичных для соответствующих ассоциаций фитоценозов, которые будут классифицироваться в ранге сообществ;

– в растительном покрове преимущественно будут развиваться фитоценозы с доминировани-

ем антропопотолерантных апофитов (увеличится их частота встречаемости);

– при стабильном во времени соотношении числа видов 4-х агроботанических групп растений в сообществах, будет уменьшаться объем каждой из них;

– сохранится текущий уровень продуктивности растительных сообществ, что не исключает существенные (в 2 и более раза) ее изменения для отдельных фитоценозов;

– будут преобладать сообщества II и III класса кормовой ценности.

Мониторинг водной растительности

За период 2021–2025 гг. проведен на 21 КУ на оз. Гиньково, Долгое, Обстерно, Белое (Доброплесы), Бредно, Моховое, Нещердо, Освейское, Синьша, Белое (Сурмино), Езерище, Лосвида, Озерок, Белое (Гродненский р-н), Кромань, Свистязь, Выгонощанское; на реках Западная Бере-

зина (Бакшты), Вилия (Михалишки), Неман (Гродно, Столбцы).

По результатам мониторинга выявлен ряд угроз состоянию растительности водоемов и водотоков. Наиболее распространенными причинами антропогенных изменений растительного

мира озер и рек Беларуси являются воздействие осушительной мелиорации, объектов промышленности и сельского хозяйства, стоки селитебных территорий, рекреация, зарыбление растительными и всеядными видами рыб. Большой вред водной растительности и водным объектам в целом приносит поступление загрязненного стока от локальных и диффузных источников на водосборах. Последнее связано главным образом с поверхностным стоком с сельскохозяйственных угодий или селитебных территорий, рекреацией. С бытовыми сточными водами либо в результате плоскостного смыва с побережья в водоемы и водотоки попадают загрязняющие и эвтрофирующие вещества.

По данным многолетних наблюдений отмечаются следующие изменения в видовом составе и количественном развитии водной растительности, усиливающиеся в последние десятилетия изменением климата:

1) Снижение видового разнообразия фитоценозов. Появление монодоминантных сообществ из толерантных к изменению условий среды видов растений.

Так, по данным мониторинга 2005 г. в оз. Выгонощанское произрастало 40 видов макрофитов. Озеро относилось к гидрофитному типу рдестового подтипа зарастания, в растительном покрове доминировали погруженные растения (эугидрофиты). В 2014 г. выявлено 26 видов макрофитов, из них 20 видов аэрогидрофитов и гигрофитов, 5 видов – плейстогидрофитов и только 1 вид – эугидрофитов [9]. В настоящее время характер и степень зарастания водоема стабилизировался на уровне 2014 г.

Видовой состав водной растительности оз. Свитязь сокращается с каждым циклом мониторинга: если в 2000 г. он включал 14 видов, в 2013 г. – 11, то в 2023 г. – всего 8 видов. Сокращение видового разнообразия происходит за счет погруженных растений.

2) Структурная перестройка в видовом составе растительных сообществ в сторону гелофитной растительности.

Примером является оз. Выгонощанское, в котором пояс погруженной растительности практически полностью деградировал, а само озеро из гидрофитного типа перешло в гелофитный (доминируют надводные растения). Подобная тенденция наблюдается и в отношении оз. Освейское.

Площади распространения, биомасса и число видов макрофитов в оз. Белое (Доброплесы) за годы исследований постепенно снижались вплоть до полного исчезновения сначала погруженных растений, а в 2023 г. в связи со сплошным выкашиванием тростниковых зарослей по

всему периметру озера – и надводной растительности [10].

Ранее основная продукционно-деструкционная функция в экосистеме оз. Свитязь принадлежала полностью погруженным растениям, степень развития которых определяла качество воды в озере. Изменения гидрохимических показателей, снижение прозрачности воды, заиление грунта способствуют зарастанию литоральной части водоема тростником, пояс же гидрофитной растительности стремительно деградирует [11]. Так, еще в 2000 г. озеро относилось к рдестовому подтипу гидрофитного типа зарастания, в 2013 г. – к полушниковому подтипу, в скором времени не исключен переход в гело-гидрофитный тип.

3) Сокращение площади зарастания и биомассы погруженных растений и смещение видового разнообразия в сторону α -мезосапробных и полисапробных видов.

Примером являются оз. Долгое, Кромань, Обстерно, в которых на смену широколистным рдестам (рдест блестящий *Potamogeton lucens*, рдест пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus*, рдест длиннейший *Potamogeton praelongus*), харовым водорослям *Chara* sp., водным мхам *Fontinalis antipyretica*, приходят роголистники *Ceratophyllum demersum* и *C. submersum*, элодея канадская *Elodea canadensis*, уруть колосистая *Myriophyllum spicatum*, телорез алоэвидный *Stratiotes aloides*, узколистный рдест (рдест сжатый *Potamogeton compressus*, рдест гребенчатый *Potamogeton pectinatus*, рдест Фриса *Potamogeton Friesii* и др.), что свидетельствует об увеличении трофности озер.

4) Массовое развитие фитопланктона, нитчатых водорослей, перифитона. Рост встречаемости и интенсивности «цветения» воды.

Примерами являются в том числе озера, до недавнего времени являющиеся эталонами мезотрофных и ацидотрофных условий, – оз. Долгое, оз. Свитязь, оз. Бредно. На КУ рек, подверженных поступлению загрязненного стока с водосбора (КУ «Бакшты» р. Западная Березина, КУ «Столбцы» и КУ «Гродно» р. Неман) отмечаются пятна «цветения» воды, скопления ряски малой *Lemna minor* и массовое развитие нитчатых водорослей, зафиксированы повышенные концентрации фосфора и азота в водной массе (в том числе превышающие нормативы ПДК).

5) Снижение обилия, жизненности и площади распространения стенобионтных видов-индикаторов мезо- и олиготрофных условий (полушник озерный *Isoetes lacustris*, лобелия Дортмана *Lobelia Dortmanna*, прибрежница одноцветковая *Littorella uniflora*, харовые водоросли, водные мхи), в то время как более конкурентоспособные

виды занимают их нишу. Проблема особенно актуальна для наиболее уязвимых мезотрофных низкоминерализованных, а также ацидотрофных озер (Свитязь, Бредно, Белое (Доброплёсы), Белое (Сурмино) и др.) (рис. 3 и 4). Из-за слабого водообмена и низких значений концентрации веществ, растворенных в водной массе, они обладают высокой чувствительностью к изменению природно-климатических условий на водосборах и к антропогенной трансформации водного, гидрохимического и термического режимов. При этом озера подобного типа являются местами обитания представителей редких и охраняемых видов растений (полушник озерный, лобелия Дортмана, прибрежница одноцветковая), что увеличивает риск утери данных видов для флоры Беларуси.

6) Более активное развитие и распространение к северу ряда теплолюбивых видов – рогульник плавающий (водяной орех, чилим) *Trapa natans* (оз. Нещердо, оз. Синьша), наяда большая *Najas major* (оз. Кромань, оз. Лосвидо), сальвиния плавающая *Salvinia natans*.

Прогноз изменений состояния водной растительности. На основании данных многолетних наблюдений за водной растительностью озер Беларуси и в свете актуальной проблемы глобального изменения климата можно прогнозировать:

– рост среднегодовой температуры воздуха приведет к увеличению теплозапаса озер и проявится в увеличении продолжительности периода вегетации макрофитов за счет смещения сроков весенней и осенней циркуляции, а также прогрева водной массы в безледный период;

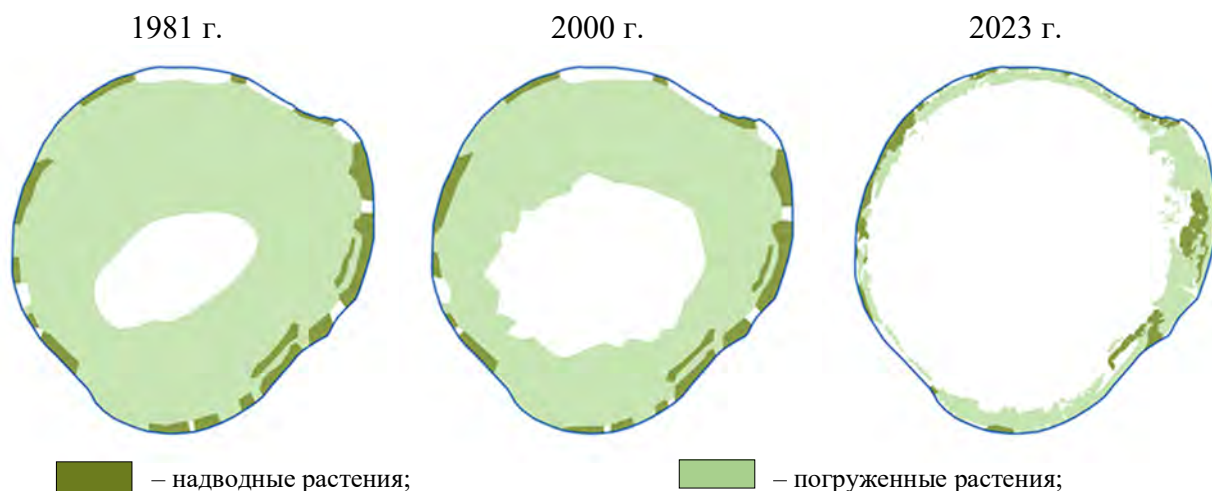


Рис. 3. Динамика изменения зарастания оз. Свитязь

Fig. 3. Dynamics of changes in overgrowth of Lake Svityaz



Рис. 4. Динамика состояния популяции лобелии Дортмана в оз. Бредно

Fig. 4. Dynamics of state of the Lobelia Dortmanna population in Lake Bredno

– увеличение зарастания озер Беларуси гелофитной (надводной) растительностью (рис. 5). Совокупное воздействие изменений климата, вероятно, приведет к увеличению численности и распространения надводных и плавающих видов и снижению – погруженных макрофитов. Повы-

шение температуры воды и содержания атмосферного CO_2 увеличивает рост макрофитов, но снижение прозрачности вследствие увеличения биомассы фитопланктона может компенсировать это за счет уменьшения глубины их проникновения;

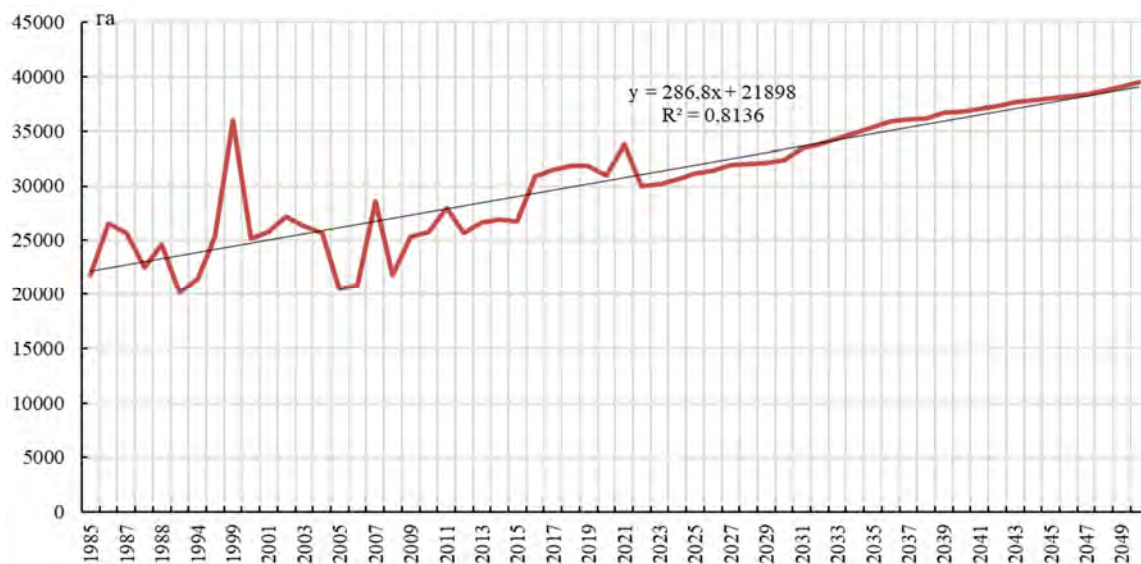


Рис. 5. Прогноз зарастания озер Беларуси гелофитной (надводной) растительностью [12]

Fig. 5. Forecast of overgrowth of lakes in Belarus by helophytic (emergent) vegetation [12]

– численность стенобионтных видов сократится, в то время как более конкурентоспособные, в том числе инвазивные, виды, вероятно, вытеснят их. Более длительный сезон роста в более высоких широтах будет способствовать инвазии экзотических видов. Уже в настоящее время наблюдается более активное развитие и распространение к северу ряда теплолюбивых видов (рогольник плавающий, сальвиния плавающая, наяда большая), и уменьшение распространения видов индикаторов мезо- и олиготрофных условий (полушник озерный, лобелия Дортмана, харовые водоросли, водные мхи);

– при более низкой прозрачности, колебаниях уровня воды и повышении температуры в озерных экосистемах будут преобладать низшие водные растения. Прогнозируется увеличение встречаемости и интенсивности «цветения» воды из-за интерактивного воздействия экстремальных температур и низких концентраций растворенного кислорода в воде;

– при всех сценариях изменения климата [13], за исключением сценария с самым низким уровнем выбросов парниковых газов, ожидается, что биоразнообразие пресноводных экосистем будет уменьшаться пропорционально степени потепления и изменения осадков [14]. Ускорение глобальной потери биоразнообразия водных растений, особенно погруженных макрофитов, хоро-

шо задокументировано [15, 16]. Основными факторами, влияющими на изменение видового богатства, по-видимому, являются глобальный климат и региональные изменения в землепользовании [16, 17]. При этом, в будущем воздействие изменения климата на погруженные макрофиты представляется более очевидным, чем изменения в землепользовании;

– уменьшение размера растений отмечено в качестве общей реакции пресноводных видов на изменение климата, учитывая связанные с температурой ограничения обмена веществ организмов с большим размером [18, 19]. В качестве примера можно привести наблюдаемую смену широколистных рдестов узколиственными, либо другими видами с большим развитием поверхности тела по отношению к массе (расчлененные на узкие мелкие доли листья, тонкие разветвленные стебли и пр.), в ответ на увеличение биогенной нагрузки и/или климатические изменения;

– наиболее серьезные изменения ожидаются по отношению к видам, характеризующимся особыми физиологическими и экологическими характеристиками, которые ограничивают их способность адаптироваться, а также в тех экосистемах, которые в наибольшей степени подвержены климатическому влиянию. Среди озерных экосистем Беларуси к таковым относятся в первую очередь водоемы кислототрофного типа (Свитязь,

Бредно, Большое Островито, Чербомысло и др.), что увеличивает риск утери ряда видов для флоры Беларуси (полушник озерный, лобелия Дортмана, прибрежница одноцветковая). Также особо уязвимыми являются небольшие и времен-

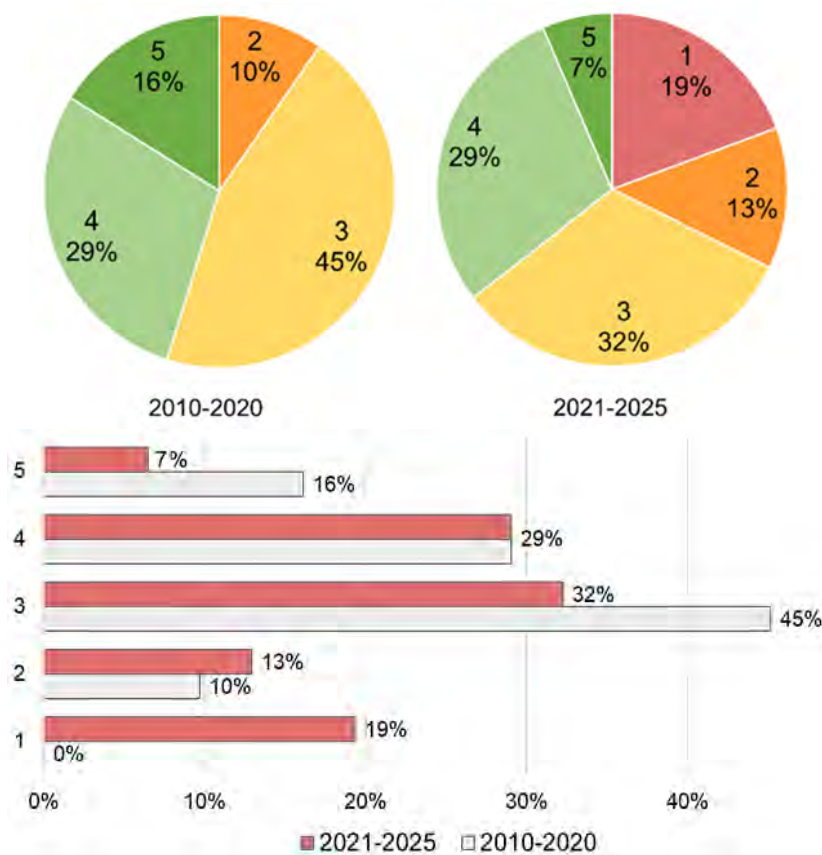
ные водоемы (в т.ч. старицы), в которых зачастую произрастают редкие виды (в частности, кувшинка белая *Nymphaea alba*): прогнозируемое усиление засух будет способствовать их сильному обмелению и исчезновению.

Мониторинг охраняемых видов растений и грибов

За период 2021–2025 гг. проведен на 31 ППН, что позволило дать текущую оценку состояния популяций 21 охраняемого вида, включенного в Красную книгу Республики Беларусь: борец обыкновенный *Aconitum lycoctonum*, борец шерстистоустый *Aconitum lasiostomum*, бровник одно-клубневый *Herminium monorchis*, бубенчик ли-лиелистный *Adenophora lilifolia*, валериана дву-домная *Valeriana dioica*, горошек гороховидный *Vicia pisiformis*, зверобой четырехкрылый *Hypericum tetrapterum*, кольник черный *Phyteuma nigrum*, крестовник приручейный *Senecio rivularis*, лапчатка скальная *Potentilla rupestris*, морошка приземистая *Rubus chamaemorus*, мытник Кауф-мана *Pedicularis kaufmannii*, пельтигера горизон-тальная *Peltigera horizontalis*, прибрежница од-ноцветковая *Littorella uniflora*, реброплодник ав-стрийский *Pleurospermum austriacum*, умбилика-рия обугленная *Umbilicaria deusta*, цинна широ-

колистная *Cinna latifolia*, щитolistник обык-новенный *Hydrocotyle vulgaris*, ятрышник обо-жженный *Orchis ustulata*, ятрышник шлемоносный *Orchis militaris* и ячменеволоснец европейский *Hordelymus europaeus*.

Динамика показателя жизненности популя-ций в сравнении с ранними исследованиями от-ражена на рис. 6. Жизненность отражает спо-собность популяции к самоподдержанию и ус-тойчивому развитию. В первом цикле наблюде-ний (2010–2020 гг.) состояние популяций пре-имущественно характеризовалось тремя выс-шими категориями: «высокое» – балл 5 (16%), «среднее» – балл 4 (29%) и «низкое» – балл 3 (45%). Лишь 8% популяций имели «низкое-кри-тическое» состояние. Популяции в критическом состоянии не фиксировались, что свидетель-ствовало об умеренном уровне риска для боль-шинства из них.



Жизненность популяции: 1 – критический, 2 – низкий-критический, 3 – низкий, 4 – средний, 5 – высокий уровень

Рис.6. Динамика показателей жизненности популяций охраняемых видов растений и грибов

Fig. 6. Dynamics of vital signs of populations of protected plant and fungal species

Сравнение показателей жизненности в период повторного цикла мониторинга (2021–2025 гг.) с предыдущим периодом (2010–2020 гг.) выявляет существенное ухудшение общего состояния охраняемых популяций и смещение распределения в сторону более высоких категорий риска. Сводные количественные показатели динамики жизненности популяций за два цикла мониторинга представлены следующим образом: ухудшение на 2 балла зафиксировано для 16% ППН; ухудшение на 1 балл – для 36% ППН; отсутствие изменений – для 42% ППН; улучшение на 1 балл – лишь для 6% ППН.

Таким образом, половина пунктов мониторинга (52%) демонстрирует отрицательную динамику жизненности популяций (снижение на 1 и 2 балла). Наиболее выраженное ухудшение (на 2 балла) отмечено у популяций бровника одно-клубневого, валерианы двудомной, зверобоя четырехкрылого, крестовника приручейного и цинны широколистной.

Наиболее тревожным фактором является появление доли популяций в категории 1 (критический уровень), которая составила 19% от общего числа обследованных. Это свидетельствует, что

почти пятая часть охраняемых популяций находится под угрозой исчезновения. Доля популяций с высокой жизненностью (5 баллов) сократилась более чем в два раза (с 16% до 7%), что указывает на снижение устойчивости даже ранее благополучных. Существенное сокращение доли популяций с низким уровнем жизненности (3 балла) с 45% до 32% подтверждает переход этих популяций в более высокие категории риска (2 и 1). Суммарная доля популяций, находящихся в критическом и низко-критическом состоянии (категории 1 и 2), возросла с 10% (2010–2020) до 32% (2021–2025), что свидетельствует об общем ухудшении состояния охраняемых популяций.

При учете негативных факторов, оказывающих влияние на состояние популяций в 2021–2025 гг., отмечен рост угроз (рис. 7). В первых циклах наблюдений (2010–2020 гг.) доля популяций, для которых не выявлено значимых негативных воздействий на их состояние или условия среды произрастания (категория «не отмечено»), составляла 41% от общего количества обследованных. Резкое снижение этой доли до 23% во втором цикле наблюдений является индикатором увеличения реальных угроз для охраняемых видов.

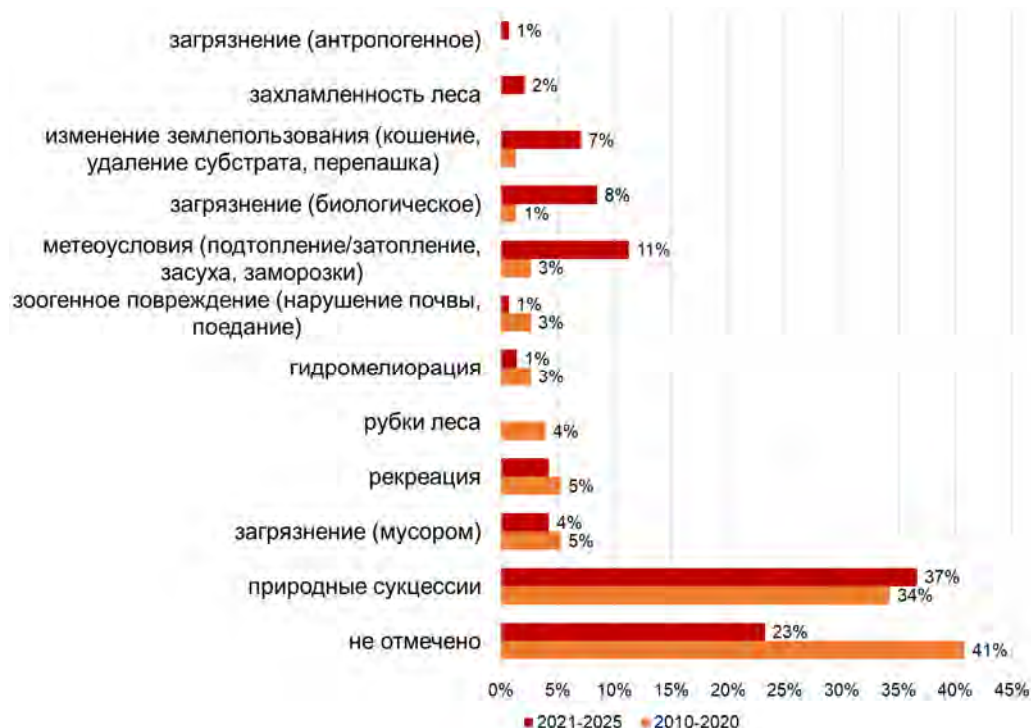


Рис. 7. Основные факторы угроз состоянию популяций видов по результатам двух циклов наблюдений

Fig. 7. Basic threat factors to state of species populations based on results of two observation cycles

Основным фактором, доминирующим по частоте встречаемости и степени воздействия в обоих циклах, остаются природные сукцессии, усиленные в последние десятилетия изменением режимов землепользования. Доля популяций,

подверженных сукцессионным процессам, варьирует в пределах 34–37%. Высокая и стабильная частота этого фактора подтверждает его фундаментальную роль в динамике популяций, особенно тех, которые приурочены к переходным

стадиям биоценозов (например, луговые сообщества). Смена стадии сообщества, выраженная в зарастании открытых местообитаний древесно-кустарниковой растительностью, критична для значительной доли охраняемых популяций. Это приводит к утрате специализированных местообитаний из-за изменений освещенности и конкурентных условий, следствием чего является снижение жизнеспособности популяций.

Повторный цикл наблюдений (2021–2025 гг.) выявил существенное увеличение частоты регистрации ряда факторов, ранее имевших низкую выраженность. Отмечен рост влияния метеорологических условий на состояние популяций на 8% (с 3% до 11%), биологического загрязнения, вызванного инвазивными видами, на 7% (с 1% до 8%) и изменений в режиме землепользования (кошение, удаление субстрата, перепашка) на 6% (с 1% до 7%). Повышение частоты регистрации этих факторов свидетельствует об усилении ранее второстепенных угроз. Экстремальные метеорологические явления (засухи, подтопления, заморозки) начинают играть значимую роль в дестабилизации популяций. Распространение инвазивных видов (биологическое загрязнение) создает дополнительное конкурентное давление на аборигенные виды, представляя серьезную угрозу биоразнообразию. Изменение традиционных методов землепользования напрямую разрушает или трансформирует местообитания. Следует учитывать, что низкая общая частота регистрации угрозы не исключает ее высокой локальной значимости. Например, для единственного местонахождения борца обыкновенного, местообитание которого превратилось в свалку бытовых отходов, данная угроза носит критический характер и требует целенаправленного внимания и регулирования.

Прогноз изменений состояния охраняемых видов растений и грибов. Динамика состояния популяций охраняемых видов растений и грибов демонстрирует разноплановый характер, обусловленный биологической спецификой таксонов и экологическими параметрами их местообитаний.

Прогноз трансформации экосистем указывает на особую уязвимость видов, приуроченных к суходольным и низинным лугам. Отсутствие эффективных мер по сохранению луговой растительности в ближайшее десятилетие приведет к необратимой утрате фитоценотического разнообразия лугов Беларуси, находящейся в лесной

природной зоне. В данной категории риск исчезновения до 15% луговых, опушечно-луговых и прибрежно-луговых фитоценозов оценивается как высокий. При реализации сценария аридизации климата и снижения уровня болотных вод прогнозируется деградация видов болотно-луговой и прибрежно-болотно-луговой групп (до 10% общего списка) вследствие естественного облесения болот. Состояние прибрежных и водных экосистем также подвержено существенным изменениям, детерминированным трансформацией гидрологического режима и зарастанием экотопов; сохранение данных негативных тенденций может затронуть до 14% охраняемых видов. Кроме того, ожидаемое сокращение площадей климаксовых, структурно сложных и увлажненных лесов (еловых, широколиственных, черноольховых) ставит под угрозу до 33% (около 100 видов) популяций, связанных с высоковозрастными лесами, включая бореально-таежные и арктобореальные виды [20].

Анализ современной динамики ряда редких видов за период 2021–2025 гг. выявил устойчивый регрессивный тренд состояния популяций борца обыкновенного, валерианы двудомной, горошка гороховидного, зверобоя четырехкрылого, кольника черного, цинны широколистной и ятрышника обожженного. Деградация вызвана интенсификацией сукцессионных процессов (зарастанием экотопов древесно-кустарниковой растительностью и высокотравьем), изменением режимов землепользования и антропогенным прессом. Для большинства объектов, особенно представленных единичными локалитетами, зафиксировано достижение критического уровня деградации, что создает угрозу их полной утраты из состава флоры Беларуси.

Учитывая выявленные тенденции, необходим переход от пассивной охраны к активным биотехническим мероприятиям по восстановлению существующих популяций и расширению их ареалов путем культивирования *ex situ* с последующей реинтродукцией в естественные или новые местообитания. Приоритетными задачами остаются минимизация негативного антропогенного воздействия и практическая реализация мер по поддержанию оптимальных экологических режимов местообитаний, соответствующих специфическим требованиям охраняемых видов.

Мониторинг ресурсообразующих видов растений и грибов.

За период с 2021 по 2025 гг. мониторинг ресурсообразующих ягодных растений проводили на 21–23 ППН ежегодно: на 16–17 ППН в Гомельской, 2–3 ППН в Могилевской и 3 ППН в Витебской областях. Сокращение количества

пунктов наблюдений связано с плановым отводом лесотаксационных выделов, в которых они находились, в сплошную рубку главного пользования. Мониторинг ресурсообразующих съедобных грибов в 2021–2025 гг. проводился на 11–12

ППН ежегодно: по 4 – в Гомельской, Могилевской и 3–4 в Витебской области. Выборочное обследование состояния и учеты плодоношения ягодных зарослей и грибных угодий проводились в 18–22 лесхозах всех ГПЛХО, а также на Двинской, Жорновской, Кореневской ЭЛБ Института леса НАН Беларуси. Всего обследовано свыше 3,6 тыс. га ягодников и около 600 га грибных угодий: в 2021 г. – 800 и 100 га; в 2022 г. – 750 и 100 га; в 2023 г. – 700 и 150 га; в 2024 г. – 700 и 130 га; в 2025 г. – 700 и 100 га соответственно. За 5 лет заложено 1381 ВПП (по 0,2 га) для определения урожая ягодных растений и 151 ВПП (по 0,10 га) для установления урожайности съедобных грибов. Кроме того, ежегодно подвергались оценке и анализу сведения по урожайности ягодных растений и продуктивности грибных угодий, предоставленные 38–47 лесохозяйственными учреждениями Беларуси.

В целом, за период 2021–2025 гг. урожайность черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* составила 136,5 кг/га, что ниже среднемноголетней [4]. Ниже средней [4], на уровне 2,2 балла (около 82 кг/га), оказалась урожайность брусники обыкновенной *Vaccinium vitis-idaea*. Наименьшей урожайностью среди ресурсообразующих видов лесных ягодных растений в этот период характеризуется голубика топяная *Vaccinium uliginosum*: за пять лет мониторинга на уровень среднемноголетней [4] урожайность этого вида вышла лишь однажды – 152 кг/га (в 2024 г.). Раннее начало вегетации сезонов 2023–2025 гг. привело к смещению начала цветения голубики вплоть до середины апреля, что существенно увеличило риск повреждения цветов и бутонов возвратными заморозками. Это же явилось основной причиной низких урожаев черники в 2023–2025 гг. Отрицательную роль в формировании урожая ягод последних лет также играют факторы, определяющие гидрологический режим мест произрастания: малоснежные зимы наряду с нерегулярными осадками во время вегетационного периода, снижение уровня грунтовых вод, особенно в южной части Беларуси. Вышесказанное в полной мере относится и к продуктивности клюквы болотной *Vaccinium oxycoccos*, за исключением того, что более позднее цветение этого растения (конец мая – начало июня) в период с 2021 г. по 2025 г. не повреждалось заморозками. Однако недостаток атмосферных осадков в период активной вегетации, формирования и созревания ягод в последние годы приобрел хронический характер и в целом за этот период урожайность клюквы не вышла на среднемноголетние показатели [4], составила лишь 162 кг/га (2,4 балла).

Урожайность белого гриба *Boletus edulis* за период с 2021 г. по 2025 г. в среднем по Беларуси колебалась от низкой до средней и составила 15,5 кг/га. В 2021 г. и 2022 г. ввиду низких среднесуточных температур мая первая волна плодоношения белого гриба практически отсутствовала, при этом раннее похолодание в сентябре 2022 г. (самый холодный сентябрь за весь период метеонаблюдений) быстро остановило его осеннее плодоношение, сделав этот год самым неурожайным (10,2 кг/га). Ранняя и теплая весна 2024 г. вызвала одну из самых ранних волн плодоношения большинства ресурсозначимых видов грибов, первые плодовые тела отмечались с середины первой декады мая. Урожайность подберезовика обыкновенного *Leccinum scabrum* в большинстве областей Беларуси колебалась от низкой до средней. Лучшим по плодоношению этого гриба оказался 2023 г., однако урожайность его лишь незначительно превысила среднемноголетнюю и составила 59,8 кг/га (2,2 балла). Для приуроченного к более влажным условиям произрастания подосиновика красного *Leccinum aurantiacum* период 2021–2025 гг. также оказался не оптимальным: его урожайность по большинству областей в среднем составила около 18 кг/га, что соответствует 1,8 балла. Крайне редко в эти годы регистрировались высокие урожаи опенка осеннего *Armillaria mellea* (средняя урожайность составила 50,2 кг/га или 1,9 балла). При этом необходимо отметить, что в отличие от большинства других ресурсообразующих видов грибов, весь урожай опенка формируется в одну, осеннюю волну плодоношения, которую в последние годы существенно сокращал дефицит осадков августа–сентября. На протяжении периода наблюдений для лисички обыкновенной *Cantharellus cibarius* было характерно отсутствие обособленных волн плодоношения: ее плодоношение в зависимости от среднесуточных температур начиналось в конце мая, середине июня и продолжалось до конца вегетации в тех регионах, где выпадало достаточное количество осадков. При этом средняя урожайность по областям колебалась не сильно и составила около 67 кг/га.

Прогноз изменений состояния ресурсообразующих видов растений и грибов. Как показывают выполненные наблюдения 2021–2025 гг. динамика урожайности ресурсообразующих видов как ягодных растений, так и съедобных грибов, определяется прежде всего метеорологическими факторами мест произрастания. При этом, несмотря на неоптимальные условия в этот период, такие как малоснежные зимы (2023–2025 гг.), поздневесенние заморозки в фенологиче-

ские фазы цветения черники, брусники и голубики (2021, 2023–2025 гг.), дефицит влаги в ключевые периоды для закладки и развития генеративных органов (2021–2025 гг.), раннеосенние заморозки (2021, 2024, 2025 гг.) и ряд других, в целом большинство наблюдаемых видов ягодных растений показали урожайность близкую к среднемноголетней. Наблюдения за состоянием растений показывают, что эти же неблагоприятные погодные факторы одновременно сдерживали развитие насекомых-вредителей брусничных (повреждение от единичных до 10% растений), а также патогенных грибов (некрозы и пятнистости отмечаются не более чем на 10–15% листьев).

Высокая устойчивость к краткосрочным и среднесрочным неблагоприятным факторам обеспечивается длительным жизненным циклом наблюдаемых видов, а также преобладанием вегетативного размножения с формированием куртин разновозрастных парциальных кустов различной плотности. Маркером устойчивости может служить сохранение на объектах высокого проективного покрытия ягодных растений. Эти же механизмы позволяют брусничным поддерживать и восстанавливать свое фитоценотическое участие в растительных сообществах при проведении лесохозяйственных мероприятий, при условии сохранения типа лесорастительных условий, вплоть до главного пользования.

Наибольшие опасения вызывают перспективы изменения состояния голубики топяной и клюквы болотной под воздействием зарастания

болот древесно-кустарниковой растительностью вследствие снижения уровня грунтовых вод, участвовавших мало- и бесснежных зим и повышения интенсивности испарения с поверхности болот и их водосборных площадей.

Что касается плодоношения ресурсообразующих видов грибов за отчетный период, обращает на себя внимание устоявшийся тренд на сглаживание волн (слоев) плодоношения прежде всего лисички обыкновенной, а также белого гриба и подберезовика. При относительно неблагоприятных метеорологических условиях последних лет такая стратегия позволила этим видам сохранить валовую урожайность на уровне среднемноголетней.

По прогнозируемым данным ресурсы ягод брусники в целом по республике к 2050 году снизятся на 3,3%, ягод голубики – на 5,3%; а вот ягод черники увеличатся на 14,6%; клюквы болотной – на 0,4%. Из-за глобального изменения климата прогнозируется снижение ресурсов белого гриба в целом по республике к 2050 году на 10,8%; лисички обыкновенной – на 9,8%; подберезовика – на 4,5%; а вот ресурсы опенка осеннего увеличатся на 3,9%; подосиновика – на 5,3% [20, 21]. Начиная с 2030 г. следует ожидать некоторую стабилизацию ресурсов ягод и грибов, которая объясняется выравниванием и улучшением возрастной и породной структуры лесного фонда, а также проведением мероприятий по стабилизации экологической обстановки в стране (повторное заболачивание, ремонт осушительной системы, создание лесных полос и др.).

Мониторинг инвазивных видов растений

За период 2021–2025 гг. проведен на 35 ППН. Основной приоритет в изучении инвазивных видов растений отдавался девяти видам: амброзии полыннолистной *Ambrosia artemisiifolia*, борщевiku Сосновского *Heracleum sosnowskyi*, золотарнику канадскому *Solidago canadensis*, эхиноцистису лопастному *Echinocystis lobata*, клену ясенелистному *Acer negundo*, робинии лжеакация *Robinia pseudoacacia*, недотроге железистой (железконосной) *Impatiens glandulifera*, недотроге мелкоцветковой *Impatiens parviflora*, рябиннику рябинолистному *Sorbaria sorbifolia* и подсолнечнику клубненосному *Helianthus tuberosus*. Все они либо имеют статус подлежащих регулированию численности, либо являются потенциальными кандидатами на его присвоение [22].

Борщевик Сосновского. В 2021–2025 гг. проводилась оценка эффективности работ по искоренению борщевика Сосновского. В Ушачском районе площадь, занятая борщевиком, возросла в 1,8 раза за 15 лет. Тем не менее, за счет обработки проективное покрытие продолжает снижаться (по состоянию на 2025 г. – на 62%). В

Национальном парке «Нарочанский» наблюдения проводились на двух ППН, где применялись принципиально различающиеся методы борьбы. Так, в д. Носовичи уже в течение семи лет (с 2018 г.) безуспешно ведутся работы по искоренению борщевика путем регулярного кошения территории (за 7 лет площадь сократилась всего на 11,5%). На территории д. Комарово помимо кошения, ведется обработка глифосатными гербицидами. Занимаемая площадь достигла своего пика в 2017 г. (1450 м²), а затем начала постепенно снижаться (на 70,0% за первые четыре года и на 97,7% за последующие четыре года). Несмотря на то, что на данной территории единично допускалось цветение борщевика, семян он не образовывал по причине губительного действия гербицида на соцветия (верхушка цветоноса отсыхает, семена не формируются). По состоянию на 2025 г. на исследуемой территории отмечено всего 14 экземпляров борщевика на площади 10 м². На территории г. Минска изначально химический метод борьбы выбран в качестве основного. Наблюдения проводились на пя-

ти ППН. Практически на всех отмечается стабильное снижение занимаемой площади (на двух из них борщевик не обнаруживается минимум год). Посев травосмесей позволил создать конкурентную среду для предотвращения распространения борщевика, но на этих территориях на месте борщевика наблюдается инвазия золотарника канадского.

Амброзия полыннолистная. Мониторинг за характером распространения организован на территории г. Гомеля, г. Минска и в Речицком районе. Наблюдения, проводимые на пойменном луге на южной окраине г. Гомеля, фиксируют увеличение занимаемой площади практически в 3 раза на пике своей численности. Мероприятия по борьбе, начатые на данной территории в 2024 г., позволили на 22,0% снизить занимаемую площадь, а проективное покрытие – с 12 до 1%. Тем не менее, за границей участка отмечается быстрый рост численности и занимаемой площади (в 3,5 раза за 2 года). В Речицком районе вид за пятилетний период полностью занял доступную территорию вблизи автодорог (полоса шириной 3–6 м и разделительная линия шоссе), увеличив занимаемую площадь в 56,8 раз. Этому поспособствовало распространение семян воздушными потоками, создаваемыми движением автомобилей.

Золотарник канадский. На частично нарушенном участке поймы р. Днепр в 2016 г. начаты наблюдения за динамикой численности на площади 1,5 га. Отмечено, что за 9 лет проективное покрытие снизилось в 4 раза (с 60 до 15%), а занимаемая площадь сократилась на 13,5%. На территории г. Минска наблюдения ведутся с 2013–2015 гг. Не на всех из них отмечается линейное снижение площади, занимаемой золотарником канадским. На одной из ППН к 2024 г. отмечено увеличением занимаемой площади в 5 раз, проективное покрытие при этом возросло в 2,3 раза. После начавшихся здесь в 2025 г. мероприятий по регулированию численности (регулярное кошение) отмечено значительное снижение как площади (на 60%), так и проективного покрытия (на 95,5%). На территории, расположенной вблизи вдхр. Цнянское, снижению численности золотарника канадского поспособствовал пожар, который уничтожил семенной банк и ослабил значительную часть растений, существенно снизив плотность произрастания. Полностью уничтожен на участке в 2025 г.

Эхиноцистис лопастной. Достаточно регулярные исследования проводились на территории Национальных парков «Нарочанский» и «Припятский», в г. Минске. В период 2021–2025 гг. отмечено исчезновение вида на ППН на

севере Беларуси. На колебание численности оказали существенное влияние весенние заморозки, приводящие к вымерзанию всходов, так и активное поедание семян эхиноцистиса мелкими грызунами. Признаков кошения и обработки территории гербицидами обнаружено не было.

Недотрога железистая. На территории национального парка «Нарочанский» вид обнаружен в 2017 г. (под ЛЭП), где он успел не только быстро адаптироваться, но и пережить двухлетний период активного кошения. В 2021 г. занимаемая площадь возросла в 13,9 раз, к лету 2022 г. – еще в 4,5 раза (вид занял всю доступную территорию с благоприятными условиями). В последующие годы отмечалось возрастание плотности произрастания, а покрытие в среднем достигло 12–15% на тенистых участках и до 70–73% – на участках с низкой сомкнутостью крон.

Недотрога мелкоцветковая. На ППН, заложенном в 2020 г., начальная площадь места произрастания составляла всего 0,8 га, а к 2025 г. она возросла до 8,3 га.

Рябинник рябинолистный. Вид относительно неизбирателен по отношению к условиям произрастания, способен расти как под лесным пологом, где формирует монодоминантные заросли в своем ярусе, так и на открытой местности, где этот процесс происходит быстрее. Скорость увеличения занимаемой площади на ППН за 6 лет составила 9,8%.

Пузыреплодник калинолистный. Наблюдения за видом проводились на севере г. Минска, в районе РНПЦ пульмонологии и физиатрии. За период 2019–2025 гг. отмечено увеличение занимаемой пузыреплодником площади в 6,6 раза.

Прогноз изменений состояния инвазивных видов растений. В целом, анализируя динамику численности наиболее опасных инвазивных видов в Беларуси за многолетний период, можно сделать вывод, что их численность будет продолжать возрастать. На рис. 8 представлены прогнозные карты экспансии рассматриваемых инвазивных видов растений, учитывающие географические особенности их распространения и предполагаемые основные маршруты экспансии, которые могут наблюдаться в последующем десятилетии.

Имеются сведения о широком распространении амброзии полыннолистной на юге Беларуси. Вероятно, главный очаг экспансии вида расположен вдоль автомобильной дороги республиканского значения М-10. Прогнозируется расширение ареала вида в Кобринском, Житковичском, Калинковичском, Мозырском, Брестском, Пинском и Столинском районах. Вероятно, с постепенной адаптацией вида к более прохладному

климату будет отмечаться и миграция вида на север страны. Учитывая динамические данные, полученные за весь период наблюдений, можно

ожидать продолжения экспоненциального роста численности вида и расширения спектра колонизируемых местообитаний.

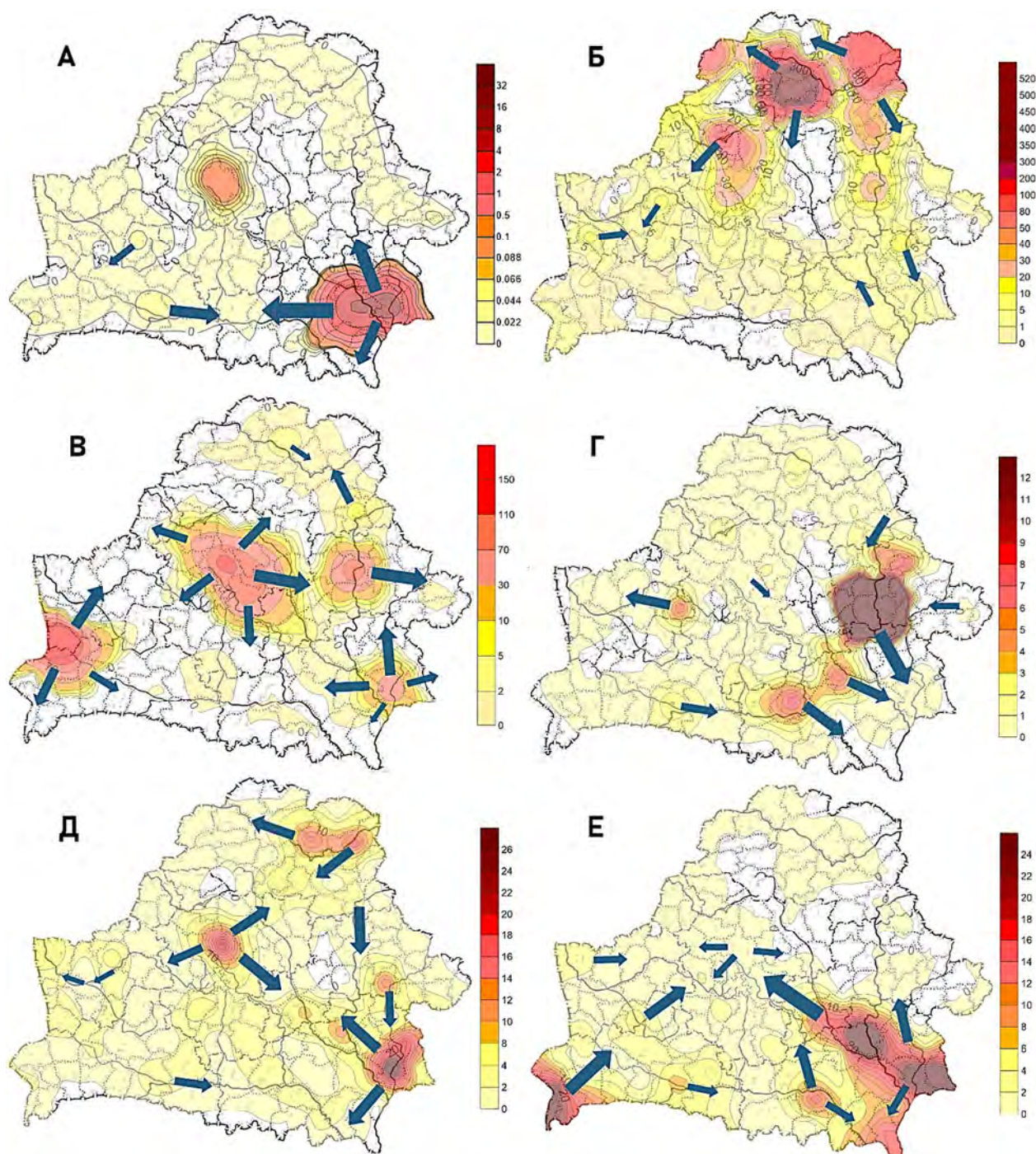


Рис. 8. Плотность распределения (га/100 тыс. га) наиболее опасных инвазивных видов растений Беларуси и прогнозируемые направления их экспансии:
 А – амброзия полыннолистная, Б – борщевик Сосновского, В – золотарник канадский,
 Г – эхиноцистис лопастной, Д – клен ясенелистный, Е – робиния лжеакация

Fig. 8. Distribution density (ha/100 thousand ha) of the most dangerous invasive plant species in Belarus and the forecast of their expansion:
 А – *Ambrosia artemisiifolia*, Б – *Heracleum sosnowskyi*, В – *Solidago canadensis*,
 Г – *Echinocystis lobata*, Д – *Acer negundo*, Е – *Robinia pseudoacacia*

При отсутствии фактора сдерживания экспансии борщевика Сосновского основными инвазионными коридорами для вида будут выступать реки, на берегах которых отмечаются незначительные по площади места произрастания вида (преимущественно на труднодоступных территориях). Наибольшую инвазионную нагрузку в данном случае будут испытывать территории, расположенные вдоль долины р. Западная Двина. Существует незначительный риск проникновения борщевиков в Березинский биосферный заповедник, где они будут представлены небольшими локалитетами по берегам р. Березина. В Гомельской области риск экспансии основан на загрязненности видом пахотных земель (особенно Жлобинского, Кормянского и западной части Речицкого района). На сегодняшний день вид достаточно успешно сдерживается в Минской области, активно уничтожается в Брестской, Могилевской, Гомельской областях, сохраняются его места произрастания в Гродненской области, а в Витебской области отмечается увеличение его численности, особенно в крупнейшем очаге экспансии – Ушачском районе. В г. Минске площади, занимаемые борщевиком Сосновского, за последние 5 лет сократились практически в 2 раза.

Крупнейшие по площади места произрастания золотарника канадского сосредоточены на всей территории Минской области, вблизи областных центров, на востоке Могилевской и юго-востоке Витебской областей, а также на пограничных с Польшей территориях, где ситуация с распространением инвазивных золотарников хуже, чем в Беларуси. Тем не менее, на ППН нами отмечается высокая эффективность мероприятий по борьбе с золотарником канадским, особенно в г. Минске. При соблюдении методических руководств и ТКП уничтожение вида является вполне выполнимой задачей.

Наибольшее инвазионное давление эхиноцистисом лопастным оказывается на востоке и юго-востоке Беларуси, где наблюдается стремительное распространение вида не только вдоль главных рек (нижнее течение рр. Березина, Днепр, Сож, Припять), но и мелких притоков. Возможно формиро-

вание новых крупных очагов экспансии в Гродненской области (в бассейне р. Неман), где эхиноцистис пока обнаруживается на берегах некоторых малых рек. Ситуация с распространением вида в Витебской области требует наблюдений.

Характер повсеместного распространения клена ясенелистного отмечается, главным образом, вблизи населенных пунктов и вдоль берегов рек (на севере страны – более выражено). Отмечается формирование кленоясенелиственных лесов на Полесье, особенно вблизи надпойменных террас в широких речных поймах. В последнее время отмечается широкое представительство вида вдоль железных дорог и в бассейне р. Западная Двина.

Для робинии лжеакации также характерно формирование небольших по площади лесных массивов на юге Беларуси, а вдоль железнодорожной сети вид распространяется активнее, чем клен ясенелистный, формируя в отдельных местах локальные метапопуляции, непрерывно простирающиеся на 1–1,5 км и более.

Помимо особо опасных инвазивных видов нами также ведутся наблюдения и за видами, повышение степени фитоинвазионной угрозы которых является весьма вероятной: недотроге железистой и пузыреплоднику калинолистному – до «особо опасных инвазивных», недотроге мелкоцветковой – до «опасных инвазивных». Рябиннику рябинолистному и подсолнечнику клубненосному предлагается сохранить статус «опасных инвазивных», поскольку они не представляют высокой экологической угрозы.

В связи с высокой инвазионной активностью видов, произрастающих на пограничных территориях, но не встречающихся на территории Беларуси, следует уделить внимание следующим видам: амброзия трехраздельная *Ambrosia trifida* (Смоленская, Брянская области Российской Федерации), эйхорния толстоножковая *Eichhornia crassipes* (Луцкая, Ровенская, Житомирская области Украины), борщевик персидский *Heracleum persicum* (Алитусский, Вильнюсский, Утенский уезды Литвы, Аугшдаугавский, Краславский и Лудзенский края Латвии).

Мониторинг защитных древесных насаждений

В систему объектов мониторинга защитных древесных насаждений вдоль автомобильных дорог в 2021–2025 гг. вошли выборочные участки магистральных дорог, отличающиеся интенсивностью движения автотранспорта: М-1/Е-30 Брест–Минск–граница Российской Федерации, М-6/Е-28 Минск–Гродно, М-5/Е271 Минск–Гомель, М-3 Минск–Витебск, М-9 Минская кольцевая автомобильная дорога (далее – МКАД). С целью определения существующего

жизненного состояния древостоев, прилегающих непосредственно к автодороге, проведена сплошная оценка деревьев на опушках (на глубину 1–2 дерева) на отдельных участках автодорог по обе стороны на большом протяжении. Протяженность исследуемых отрезков древесных насаждений вдоль трасс составляла в среднем около 2 км с каждой стороны дороги. Всего за 2021–2025 гг. в совокупности обследовано 74275 деревьев 15 древесных пород, в том числе

34500 деревьев экспонировано солнцу и 39775 деревьев не экспонировано солнцу; 32276 деревьев при положении дороги в насыпи; 29957 деревьев – в нуле и 12042 деревьев – в выемке.

Для совокупности обследованных в 2021–2025 гг. вдоль магистральных автодорог лесных и защитных древесных насаждений в опушечной полосе чаще встречаются «ослабленные» деревья – 45,1–49,5%. Доля деревьев «без признаков ослабления» составляет 25,9–33,5%; «сильно ослабленных» – 16,7–24,0%. «Усыхающие» и «сухостойные» деревья составляют 0,9–2,8% и 0,9–1,5%, соответственно.

Обследованные на мониторинговых маршрутах породы можно расположить в следующем порядке по мере улучшения их состояния (рис. 9):

– сильно поврежденные деревья: липа мелколистная *Tilia cordata* (индекс жизненного состояния (далее – ИС) 49,5%);

– поврежденные деревья: ольха черная *Alnus glutinosa* (55,6%) < ясень обыкновенный *Fraxinus excelsior* (59,3%) < акация белая *Robinia pseudo-*

acacia (60,7%) = ива козья *Salix caprea* (60,7%) < береза повислая *Betula pendula* (64,0%) < ель европейская *Picea abies* (66,4%) < вишня магалебка *Padellus mahaleb* (67,3%) < рябина обыкновенная *Sorbus aucuparia* (68,1%);

– ослабленные деревья: тополь и осина *Populus sp.* (72,3%) < каштан конский *Aesculus hippocastanum* (73,2%) < клен остролистный *Acer platanoides* (73,9%) < вяз шершавый *Ulmus glabra* (75,3%) < сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* (75,5%) < дуб черешчатый *Quercus robur* (82,59%).

Низкое жизненное состояние ольхи черной объясняется ее приуроченностью к пониженным участкам, где дорога проходит, как правило, в насыпи, а также накоплением рассолов, стекающих в понижения. Липа и береза обладают низкой устойчивостью к воздействию противогололедных реагентов (далее – ПГР), по-видимому, из-за малой толщины коры 1–2-летних побегов и чешуек на почках, не способных противодействовать проникновению хлоридов.

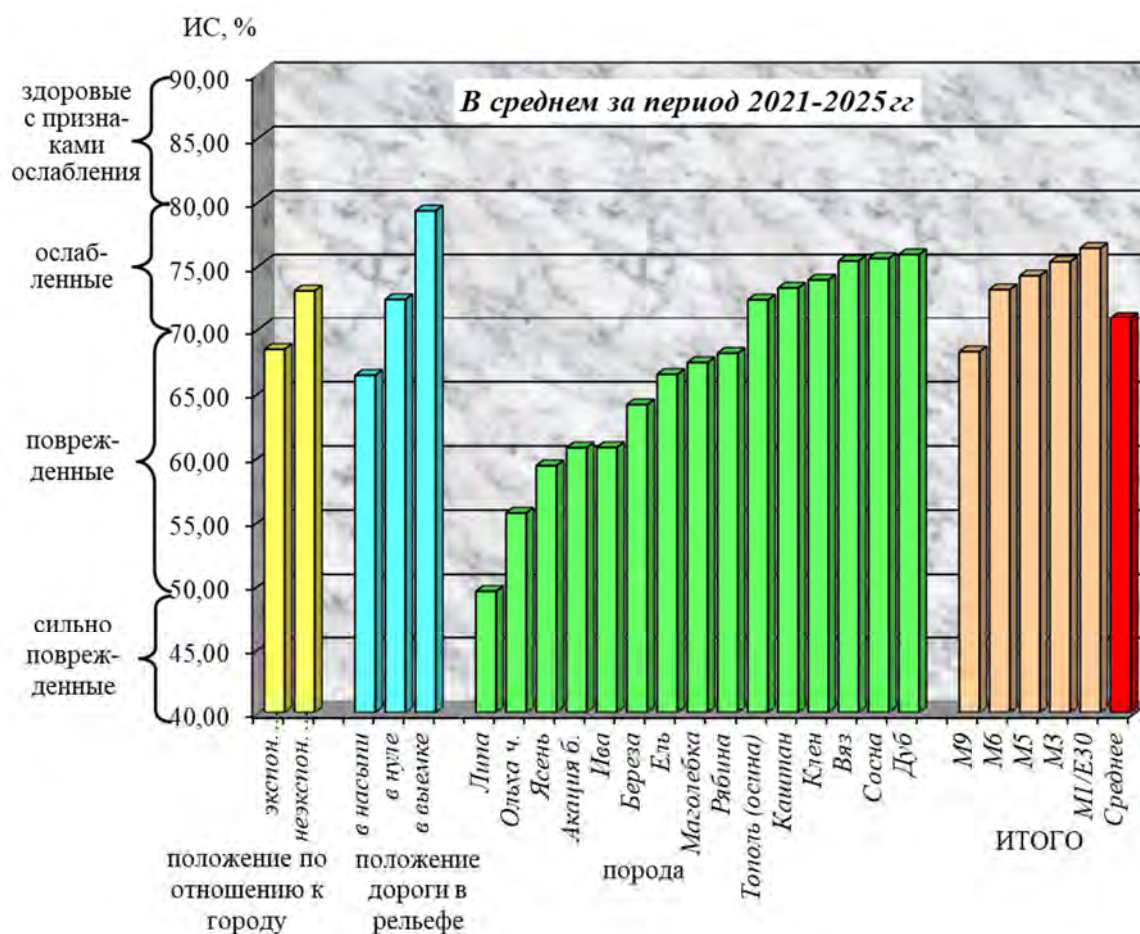


Рис. 9. Индексы состояния древостоев на опушках в лесных и защитных древесных насаждениях вдоль магистральных автодорог в среднем за период 2021–2025 гг.

Fig. 9. Indices of the state of stands on edges of forest and protective tree stands along main roads on average for period 2021–2025

Более других пород оказывались также поврежденными деревья ели в снегозадерживающих полосах, мелкие деревья и подрост сосны, подлесок можжевельника (вплоть до полной гибели). Высокую устойчивость к засолению в опушечной полосе уже который год показала акация желтая.

Степень повреждения древесных насаждений зависит от их положения относительно полотна дороги: состояние лучше у насаждений, расположенных выше полотна дороги (при прохождении дорог в выемке ИС – 79,25%) (см. рис. 9). Когда уровень почвы насаждений, прилегающих к дороге, находится на уровне ее полотна (дорога «в нуле») состояние древостоев в опушечной зоне ухудшается (ИС – 72,33%). Наиболее повреждены древостои на участках, где дорога проходит выше поверхности почвы прилегающих насаждений (при положении дороги в насыпи ИС – 66,34%). Эта зависимость объясняется высотой поднятия загрязняющих веществ (выбросов автотранспорта, содержащих компоненты ПГР взвесей) турбулентными потоками воздуха, создаваемыми движущимся транспортом.

Сравнивая между собой различные магистральные автодороги – хуже всего состояние вдоль наиболее антропогенно, в т.ч. техногенно, нагруженной дороги в республике – М9 МКАД (ИС = 68,2%, насаждение «поврежденное»). ИС вдоль остальных автодорог варьирует от 73,1% (вдоль автодороги М-6/Е28 Минск-Гродно) до 76,3% (вдоль автодороги М1/Е30 (Брест-Минск-граница Российской Федерации)).

Состояние древостоев по совокупности обследованных деревьев вдоль различных участков магистральных автодорог за период 2021–2025 гг. позволяет отнести их к категории «ослабленных» (ИС = 70,9%). Сравнивая состояние в динамике, следует отметить, что состояние за эту пятилетку оказалось несколько хуже по сравнению с периодом 2016–2020 гг. Ухудшение связано с аномально большим количеством вносимых ПГР (зимы 2022/2023 и 2023/2024 гг.) и с погодноклиматическими условиями зимне-весеннего периода (засухами в весенний период в мае 2023 г.; мае 2024 г. и апреле 2025 г.). За последние 5 лет наблюдений наихудшее состояние отмечалось в 2025 г., поскольку наравне с засушливым началом вегетационного сезона, деревья (особенно береза) были повреждены весенними (май) заморозками.

В рамках мониторинга защитных древесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения наблюдения в 2021–2025 гг. проводились на территории Столинского (2021 г., 17 КУ)

и Малоритского (2024 г., 13 КУ) районов Брестской области; Лидского (2022 г., 12 КУ) района Гродненской области; Любанского (2023 г., 13 КУ) района Минской области и Бельничского (2025 г., 15 КУ) района Могилевской области.

По результатам мониторинга установлена негативная тенденция ухудшения состояния и деградации защитных древесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения. Основными факторами деградации являются естественные процессы старения, ураганы и буреломы, антропогенный пресс, который приходится на придорожные лесные полосы, низовые пожары различной степени интенсивности, а также различные энтомофитопатогены.

В целом, для динамики состояния полевых защитных древесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения характерно:

- наличие общей тенденции на ухудшение состояния полевых защитных полос с увеличением возраста, ведущего к снижению их защитных свойств,
- значительная часть полевых защитных насаждений требует проведения мероприятий по их реконструкции, замене и уходу,
- при проведении ухода – состояние улучшалось (например, уход проводился на территории Любанского района в 2016–2023 гг.),
- выявлены угрозы обеспечения жизнедеятельности защитных древесных насаждений и разработаны предложения по улучшению их функциональной эффективности,
- для части насаждений с целью повышения выполняемых ими защитных функций назначены необходимые лесоводческие и лесовосстановительные мероприятия.

Состояние защитных древесных насаждений требует проведения мероприятий по восстановлению (обновлению) и является свидетельством отсутствия мероприятий по уходу за ними. За период 2021–2025 гг. в адрес Бельничского, Лидского, Любанского, Малоритского и Столинского районных исполнительных комитетов направлены аналитические записки, которые содержат результаты сравнительного анализа состояния защитных древесных насаждений на территории районов с момента закладки до проведения повторного наблюдения, анализ основных тенденций в состоянии защитных древесных насаждений и выполнения ими защитных функций. Для части насаждений с целью их замены и восстановления назначены мероприятия по реконструкции, для остальной части древостоев – мероприятия по усилению их защитных функций в виде рубок ухода, включая санитарные, и лесовосстановительные мероприятия.

Прогноз изменений состояния защитных древесных насаждений.

Прогноз состояния защитных древесных насаждений вдоль автомобильных дорог.

Наибольшую нагрузку от воздействия автомобильного транспорта и деятельности по обслуживанию дорог в зимний период (внесение ПГР) испытывают насаждения, непосредственно примыкающие к дорожному полотну – опушечная придорожная зона. Именно на опушках отмечается массовое повреждение и гибель деревьев, подроста и подлеска. Они постоянно подвергаются воздействию выхлопных газов и ПГР, активные компоненты которых вступают в реакцию с почвой и поверхностью растений. На состояние древостоев опушечной зоны влияет ряд факторов: изменение условий среды при расширении трассы автодороги и вырубке опушечных деревьев, транспортная нагрузка, количество и качество вносимых ПГР, уровень положения дороги относительно прилегающих насаждений (в насыпи, в выемке или в нуле), категория самой дороги [23].

Ухудшение жизненного состояния связано с чрезмерным применением ПГР в зимний период (например, на МКАД внесено хлорида натрия более, чем в 3 раза выше нормы – 16638 тонн зимой 2022/2023 гг. и 17023 тонн зимой 2023/2024 гг.) [23]. В будущем следует ожидать дальнейшего ухудшения состояния лесных и защитных древесных насаждений, произрастающих вдоль автомобильных дорог, поскольку количество выбросов от передвижных источников загрязнения и количество вносимых ПГР продолжает увеличиваться: нарастает риск проявления эффекта накопления.

Проблемой выступают климатические изменения: ранняя вегетация, поздневесенние заморозки, засушливые периоды, особенно в начале вегетационного периода, ураганные ветра, пожары и прочее. Например, в последние 3 года из-за ранней весны и долгого отсутствия дождей в начале вегетации, попавшие в зимний период на побеги растений компоненты ПГР не были смыты дождями, что привело к повреждению распускающихся почек, и в целом негативно отразилось на состоянии произрастающих на опушках деревьев.

Следует отметить, что в период вегетации происходит частичное восстановление состояния поврежденных деревьев и древостоев в целом. Улучшение связано, во-первых, с оздоровлением древостоев, обусловленным смывом повреждающих реагентов с крон деревьев осадками и прекращением их внесения; во-вторых, с проводимыми санитарными мероприятиями, в

результате которых количество усыхающих деревьев и свежего сухостоя уменьшается; в-третьих – с повторной вегетацией у лиственных деревьев и опадением сухой хвои у хвойных. Тем не менее, утрата 25–70% ассимиляционного аппарата неизбежно ведет к общему ослаблению деревьев и снижению их устойчивости к дальнейшему воздействию ПГР в будущем. Кроме того, воздействию ПГР следующей зимой будут экспонированы уже новые, ранее защищенные опушечными деревьями особи.

Выявленные причины повреждений и ухудшения состояния, низкой приживаемости защитных насаждений вдоль автомобильных дорог требуют проведения комплекса мероприятий для повышения их жизненности и устойчивости, а также корректировки озеленения придорожных территорий. Важно отметить, что некоторые вопросы создания и выращивания зеленых насаждений вдоль автомобильных дорог невозможно решить только путем применения действующих нормативных документов. Полностью и комплексно вопросы надлежащего содержания придорожных зеленых насаждений могут быть решены только путем территориально-избирательного подхода к проблеме.

Прогноз состояния защитных древесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения. По результатам мониторинга установлена негативная тенденция ухудшения состояния и деградации защитных древесных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения. Основными факторами деградации являются естественные процессы старения, ураганы и буреломы, антропогенный пресс, который приходится на придорожные лесные полосы, низовые пожары, различные энтомофитовредители и фитопатогены, изменение климата.

В ряде районов прошло уже более 50 лет со времени создания первых лесных полос (в основном из тополя), они достигли предельного возраста и в значительной степени утратили свое функциональное значение: наблюдаются отклонения в строении побегов, их кустистость и образование пучков побегов в кронах, появление «водяных» побегов из спящих почек на ветвях и стволах, порослевых побегов у шейки корня деревьев; замедляется рост побегов, снижается устойчивость деревьев к неблагоприятным факторам среды, имеет место их усыхание. Такие защитные насаждения соответствуют категории «сильно поврежденные» или «разрушенные». В более молодых посадках 30–40 лет наблюдается зарастание посадок подлеском, разрастание нижней части крон, что приводит к ухудшению конструкции защитных полос до плотной (непродуваемой).

В настоящее время в полевых насаждениях не ведутся работы по уходу и поддержанию их нормальной жизнеспособности. В организациях Минсельхозпрода такие мероприятия не проводятся (кроме ухода за мелиоративными каналами), ответственность за их состояние сельскохозяйственные учреждения и предприятия не несут, то есть фактически созданные полевые насаждения остались без хозяина. На отдельных участках имеет место несанкционированная вырубка. Учитывая породный состав насаждений, их возраст и особенности конструкции, можно прогнозировать увеличение естественного отпада деревьев в полевых полосах. В результате, вследствие усиления почвенной, ветровой и водной эрозии, изменения климата в направлении потепления, деградация защитных насаждений приведет к снижению продуктивности сельскохозяй-

ственных земель и уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур.

Для обеспечения защитных функций насаждений рекомендуется регулярно проводить рубки ухода и санитарные рубки для формирования ажурной, продуваемой конструкции и улучшения санитарного состояния; реконструкцию или ремонт древостоев с посадкой деревьев в местах выпадения старых, больных и сухих особей и лесовосстановительные мероприятия. Полагаем, что лесохозяйственные учреждения могут качественно выполнить на договорной основе необходимые работы как по созданию защитных древесных насаждений, так и по проведению лесохозяйственных мероприятий (лесоводственные уходы, ремонт, рубки реконструкции и т.п.) с целью формирования защитных насаждений высокой функциональной значимости.

Мониторинг зеленых насаждений на землях населенных пунктов

В 2025 г. на территории г. Минска реализован четвертый цикл мониторинга зеленых насаждений в пределах городской черты. Наблюдениями охвачены насаждения общего пользования различных функциональных категорий: на улицах и дорогах (13 КУ), бульвары (5 КУ), скверы (6 КУ) и общегородские парки (6 КУ). Суммарно обследовано 30 КУ, включающих 1294 дерева, из которых 624 учтены в посадках вдоль дорог, 275 – на бульварах, 162 – в скверах и 233 – в парках. Из сети наблюдений исключены два участка: по ул. Богдановича (вследствие удаления деревьев из-за строительства станции метрополитена) и по ул. Кольцова (вследствие полной гибели древостоя).

Различия в жизненном состоянии зеленых насаждений города детерминированы, прежде всего, их функциональной принадлежностью (рис. 10). Наибольшая степень повреждений фиксируется у деревьев придорожных полос и скверов. В данных локациях эффект влияния городской среды усугубляется последствиями ав-

тотранспортного воздействия, как прямого (загрязнители, поступающие с выхлопными газами автомобилей), так и косвенного, связанного с технологией содержания дорог (в особенности в зимний период), изоляцией корнеобитаемых зон, а также механическими повреждениями стволов при уходе за газонами и т.д.

Насаждения «вдоль улиц и дорог» стабильно характеризуются минимальными значениями жизнеспособности на протяжении всех циклов мониторинга, что подчеркивает их максимальную уязвимость и подверженность стрессовым факторам урбанизированной среды. Категории «бульвары» и «скверы» занимают промежуточное положение, демонстрируя выраженную негативную динамику в текущем периоде наблюдений. Максимальные значения ИС сохраняются в категории «парки», что обусловлено сниженной антропогенной нагрузкой. Тем не менее к 2025 г. и в этой группе отмечено существенное ухудшение состояния древостоев.

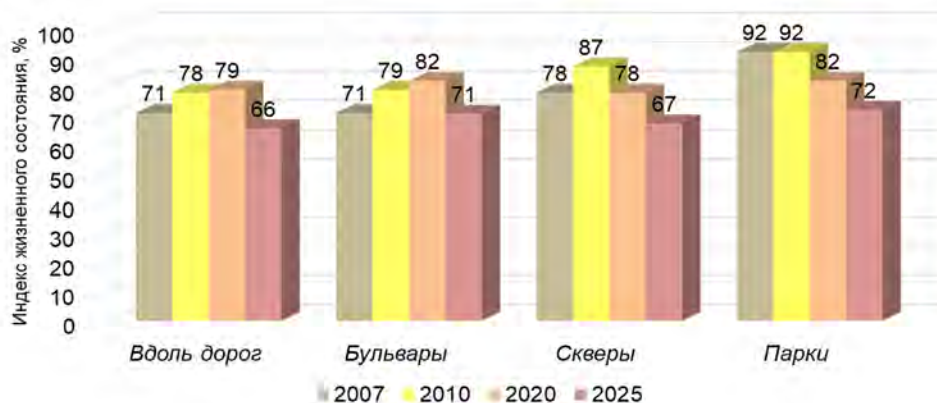


Рис. 10. Динамика индекса жизненного состояния зеленых насаждений г. Минска

Fig. 10. Dynamics of the index of vital state of green plantings in Minsk

Период 2020–2025 гг. характеризуется наиболее выраженной и повсеместной деградацией всех категорий зеленых насаждений, что является ключевой закономерностью данного цикла мониторинга. В частности, насаждения вдоль дорог и в скверах перешли из категории «ослабленные» в группу «поврежденные». Состояние деревьев в парках и на бульварах также ухудшилось: если ранее ИС позволял характеризовать их как «здоровые с признаками ослабления», то в 2025 г. они переместились в категорию «ослабленные» (табл. 2, см. рис. 10.).

К 2025 г. ни одна из обобщенных категорий древесных пород не находится в «здоровом» состоянии. Липа мелколистная (*Tilia cordata*) классифицируется как ослабленная, тогда как береза бородавчатая (*Betula pendula*), каштан конский обыкновенный (*Aesculus hippocastanum*) и клен остролистный (*Acer platanoides*) отнесены к поврежденным древостоям. Каштан конский обыкновенный проявляет высокую чувствительность к условиям придорожных насаждений. Вдоль дорог

наблюдается наиболее выраженное ухудшение его состояния (рис. 11), что объясняется значительным развитием краевого некроза листьев. Однако в более благоприятных условиях бульваров, скверов и парков каштан демонстрирует высокую адаптивность, достигая статуса «здоровые» (ИС 97%) в скверах и «здоровые с признаками ослабления» (ИС 88%) в парках. Эти показатели являются одними из самых высоких, подтверждающие его пригодность для озеленения данных категорий насаждений, в отличие от придорожных посадок. Клен остролистный является одной из наиболее уязвимых пород, повсеместно классифицируясь как «поврежденный» во всех функциональных типах насаждений (ИС 63–67%), с заметным ухудшением по сравнению с 2020 г. Липа мелколистная, береза бородавчатая и дуб черешчатый (*Quercus robur*) показывают умеренную устойчивость, но к 2025 г. они преимущественно перешли в категории «ослабленные» или «поврежденные» во всех типах зеленых насаждений, что свидетельствует о повсеместном снижении ИС.

Таблица 2. Жизненное состояние деревьев различных пород в зеленых насаждениях г. Минска

Table 2. The vital state of trees of various species in the green plantings of Minsk

Древесная порода	Категории насаждений											
	Вдоль дорог			Бульвары			Скверы			Парки		
	2010	2020	2025	2010	2020	2025	2010	2020	2025	2010	2020	2025
Все	78*	79	57	79	82	71	87	78	67	92	82	70
Береза бородавчатая	96	81	64	–	–	–	97	80	66	97	89	77
Каштан конский обыкновенн.	72	73	57	89	91	89	77	90	97	81	94	88
Клен остролистный	85	78	67	82	69	64	88	80	63	100	82	66
Липа мелколистная	77	81	72	66	85	69	92	80	71	94	81	76
Дуб черешчатый	–	–	–	70	85	65	–	–	–	–	–	57
Ель европейская	–	–	–	87	88	53	73	–	67	–	–	49
Сосна обыкновенная	–	–	–	–	–	70	–	–	–	91	87	74

*Категории жизненного состояния насаждений: 90–100 – здоровые; 80–89 – здоровые с признаками ослабления; 70–79 – ослабленные; 50–69 – поврежденные; 20–49 – сильно поврежденные.



Рис. 11. Распределение деревьев преобладающих пород согласно индексу жизненного состояния в 2025 г.

Fig. 11. Distribution of trees of the predominant species according to vital state index in 2025

Несмотря на эпизодические улучшения в ранние периоды мониторинга, общая тенденция к 2025 г. свидетельствует о прогрессирующей деградации состояния всех категорий зеленых насаждений. Резкое и повсеместное ухудшение жизненного состояния в 2025 г. является индикатором усиления системных негативных факторов, воздействующих на городскую растительность. Особую тревогу вызывают низкие показатели жизненного состояния придорожных насаждений и скверов. Это указывает на необходимость разработки более интенсивных мер по реабилитации зеленых насаждений в этих наиболее уязвимых категориях, где эффект влияния городской среды усугубляется прямым (загрязнители от выхлопных газов) и косвенным автодорожным и рекреационным воздействием (технология содержания дорог, в частности применение ПГР в зимний период, изоляция корнеобитаемых зон, уплотнение почвы, а также механические повреждения стволов при уходе за газонами).

Фитосанитарное состояние древесных насаждений г. Минска в 2025 г. характеризуется значительным разнообразием патологий, что также подтверждает высокую интенсивность воздействия урбаногенных стрессовых факторов. Доминирующим типом повреждений во всех функциональных категориях является поражение ассимиляционного аппарата энтомофитовыми вредителями (свыше 50% деревьев). При этом в придорожных посадках преобладают краевые некрозы неинфекционной этиологии и повреждения минирующими насекомыми. В то же время инфекционные заболевания листьев наиболее массово фиксируются в парках и скверах. Данная закономерность обусловлена формированием в крупных массивах специфического микроклимата: высокая сомкнутость полога и плотность посадок ограничивают аэрацию крон и способствуют удержанию влаги, что создает оптимальную среду для распространения грибных патогенов. Дополнительным фактором выступает наличие инфекционного фона в виде листового опада. Выявленный комплексный характер повреждений обосновывает необходимость разработки интегрированных программ защиты растений, дифференцированных в соответствии с экологической спецификой объектов и биологическими особенностями культивируемых видов.

Прогноз изменений состояния зеленых насаждений г. Минска. Общее состояние зеленых насаждений г. Минска оценивается как удовлетворительное, однако данные мониторинга свидетельствуют об устойчивом тренде к ухудшению жизненного состояния по всем функциональным категориям. Наиболее выраженная де-

градация зафиксирована в период 2020–2025 гг. Удовлетворительные показатели в значительной степени поддерживаются экстенсивными методами содержания, а именно – оперативной заменой погибших и усыхающих деревьев. Данный подход маскирует системное ослабление древостоев и не решает фундаментальных проблем устойчивости городской экосистемы. При сохранении текущих тенденций и отсутствии превентивных комплексных мер прогнозируется дальнейшее ухудшение качественных характеристик городской растительности.

Наиболее критическим сегментом остаются насаждения вдоль автомобильных дорог. Несмотря на постоянное обновление посадок, вероятность перехода значительной части существующих придорожных древостоев в категорию «сильно поврежденные» с последующей утратой их средообразующих функций неизбежна. Эта категория всегда будет требовать значительных бюджетных расходов на ликвидацию последствий и на превентивные меры.

В скверах и на бульварах ожидается продолжение деградации, что приведет к росту доли аварийно-опасных экземпляров, требующих удаления, и снижению эстетической ценности ландшафтов. Парковые территории также подвержены рискам снижения жизнеспособности под воздействием климатической нестабильности.

Наряду с техногенным загрязнением и воздействием ПГР, решающее влияние на жизнеспособность деревьев оказывают латентные факторы: эдафический стресс (уплотнение почвы, дефицит влаги, снижение биологической активности) и климатические аномалии. Экстремальные погодные явления не только вызывают прямое ослабление растений, но и инициируют массовое развитие патогенов и вредителей, формируя взаимоусиливающий эффект деградации древостоев. Практика систематической замены деревьев без нивелирования причин их гибели лишь отсрочивает структурный распад экосистемы и ведет к прогрессирующему росту эксплуатационных затрат.

Нельзя не отметить положительный вектор развития городского озеленения в последнем цикле мониторинга. К нему относится расширение ассортимента пород с повышенной соле- и газоустойчивостью при реконструкции придорожных посадок, совершенствование агротехнических регламентов, включая оптимизацию условий посадки и минимизацию механических повреждений стволов при уходе за газонами. Эти меры, направленные на снижение антропогенной нагрузки, вероятно, положительно скажутся на жизнеспособности зеленых насаждений в долгосрочной перспективе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты МРМ в составе НСМОС за цикл 2021–2025 гг. сформировали массив данных, имеющий фундаментальное научное и прикладное значение. Полученная информация позволила не только отразить современное состояние и динамику ключевых категорий объектов растительного мира, но и разработать научно обоснованные прогнозы их трансформации в условиях меняющегося климата и антропогенного пресса.

Система МРМ выступает важным инструментом информационного обеспечения экологической политики государства. Основной формой передачи мониторинговой информации являются обобщенные аналитические доклады, аналитические записки, паспорта и охранные обязательства на места произрастания отдельных объектов растительного мира, методические и практические рекомендации по принятию управленческих, проектных и технологических решений в области сохранения биологического разнообразия, рационального использования растительных ресурсов и поддержания качества окружающей среды в рамках государственной экологической экспертизы и ОВОС.

Данные мониторинга использовались для оперативного информирования органов исполнительной власти, хозяйственных, общественных и других органов о состоянии объектов мониторинга и принятия решений по восстановлению, оптимизации, охране и рациональному их использованию. За период 2021–2025 гг. по результатам проведенных исследований органам госуправления направлены 16 аналитических записок, получено 17 актов внедрения. Результаты МРМ использованы:

- при подготовке Национального атласа Беларуси, Шестого и Седьмого национальных докладов о выполнении Республикой Беларусь Конвенции о биологическом разнообразии;

- для оценки и прогноза состояния кормовых угодий, продуктивности и качества травостоев; при подготовке предложений об улучшении состояния естественных сенокосов и пастбищ и рекомендаций по восстановлению, оптимизации, охране и рациональному использованию кормовых угодий;

- при разработке предложений по регулированию и минимизации негативной антропогенной нагрузки на водные экосистемы; для организации охраны и рационального использования водоемов и водотоков;

- при подготовке 5-го издания Красной книги Республики Беларусь; разработке нормативных

актов по сохранению редких и исчезающих видов растений; 36 планов действий по сохранению редких видов растений, прогнозирования их состояния и организации охраны; при подготовке планов управления для ряда ООПТ;

- для оперативного прогноза урожайности пищевых видов ягодных растений и съедобных грибов с рекомендациями по установлению ограничений или запретов; при корректировке допустимых объемов и установлении сроков начала заготовок ягодных растений и грибов в порядке промыслового сбора структурными подразделениями Минприроды;

- для разработки Национальной стратегии и плана действия Республики Беларусь по борьбе с борщевиком Сосновского и другими наиболее опасными инвазивными видами растений; для осуществления практических мероприятий по ограничению распространения инвазивных видов растений в г. Минске, на ООПТ, а также в ряде регионов страны;

- при подготовке аналитических записок о состоянии защитных древесных насаждений вдоль автомобильных дорог, полезащитных лесных полос и других объектов растительного мира на землях сельскохозяйственного назначения и предложений по их рациональному использованию (в адрес Минприроды и Совмина); о воздействии строительства и содержания автомобильных дорог на придорожную растительность и рисках создания и подходах к содержанию зеленых насаждений вдоль автомобильных дорог (в адрес Минтранса); о состоянии защитных древесных насаждений, основных тенденциях и причинах ухудшения состояния и выполнения ими защитных функций с предложениями по улучшению их функциональной эффективности;

- для принятия оперативных управленческих и проектных решений в области оптимизации качества урбанизированной среды средствами зеленого строительства и разработки научно-обоснованных рекомендаций по их эксплуатации;

- при разработке нормативных и технических документов в области охраны окружающей среды (ТКП, инструкции, методические и практические рекомендации);

- в учебном процессе ВУЗов при чтении лекционных курсов, проведении практических занятий, подготовке курсовых и дипломных работ.

В конечном итоге, результаты мониторинга служат научным фундаментом для формирования превентивных мер по сохранению биоразнообразия и рациональному использованию растительного мира.

тельных ресурсов. Непрерывность наблюдений и совершенствование методологических подходов остаются ключевыми условиями для эффективного функционирования НСМОС и выполнения международных обязательств Республики Беларусь в области сохранения биоразнообразия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об охране окружающей среды : Закон Респ. Беларусь от 26 нояб. 1992 г. № 1982-ХП : в ред. от 17 июля 2023 г. № 294-З, от 30 дек. 2025 г. № 126-З // КонсультантПлюс: Республика Беларусь : [электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр законодательства и правовых исследований Респ. Беларусь. – Минск, 2026. – (дата обращения: 27.05.2026).
2. О растительном мире : Закон Респ. Беларусь от 14 июня 2003 г. № 205-З : в ред. Законов Респ. Беларусь от 29 окт. 2004 г. № 319-З, от 19 июля 2005 г. № 42-З, от 29 июня 2006 г. № 137-З, от 20 июля 2006 г. № 162-З, от 20 окт. 2006 г. № 169-З, от 13 июня 2007 г. № 238-З, от 10 нояб. 2008 г. № 444-З, от 2 июля 2009 г. № 32-З, от 28 дек. 2009 г. № 96-З, от 17 мая 2011 г. № 260-З, от 22 янв. 2013 г. № 18-З, от 18 июля 2016 г. № 402-З, от 18 дек. 2018 г. № 153-З, от 04 янв. 2022 г. № 145-З, от 30 дек. 2025 г. № 126-З // КонсультантПлюс: Республика Беларусь : [электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр законодательства и правовых исследований Респ. Беларусь. – Минск, 2026. – (дата обращения: 27.05.2026).
3. О порядке проведения мониторинга растительного мира и геофизического мониторинга и использования их данных : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 14 апр. 2004 г. № 412 : в ред. постановлений Совета Министров Респ. Беларусь от 10 июня 2008 г. № 835, от 25 окт. 2011 г. № 1426, от 27 февр. 2024 г. № 130 // КонсультантПлюс: Республика Беларусь : [электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр законодательства и правовых исследований Респ. Беларусь. – Минск, 2026. – (дата обращения: 27.05.2026).
4. Мониторинг растительного мира в Республике Беларусь: результаты и перспективы / И. В. Бордок, И. Н. Владимирова, Б. П. Власов [и др.] ; под общ. ред. А. В. Пугачевского, А. В. Судник ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Мн. : Беларуская навука, 2019. – 491 с.
5. Мониторинг растительного мира в Беларуси: 25 лет наблюдений / сост.: А. В. Судник, И. П. Вознячук, Н. Д. Грищенко ; под ред. А. В. Пугачевского ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Колорград, 2022. – 63 с.
6. Инструкция о порядке проведения мониторинга растительного мира [Электронный ресурс] : утв. постановлением Президиума Нац. акад. наук Беларуси от 12 окт. 2012 г. № 52 : в ред. постановления Президиума Нац. акад. наук Беларуси от 14 окт. 2024 г. № 35. – URL: <https://monitoring.basnet.by/wp-content/uploads/Instrukciya-o-MRM-Postanovlenie-52-2.pdf> (дата обращения: 27.05.2026).
7. Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / под ред. А. В. Пугачевского ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Право и экономика, 2011. – 165 с.
8. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь : [сайт] / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – URL: https://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr (дата обращения: 27.05.2026).
9. Рудаковский, И. А. Изменения характера и степени зарастания озера Выгонощанское / И. А. Рудаковский, Н. Д. Грищенко // Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата : материалы Междунар. науч. конф., г. Минск, 5–8 мая 2015 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: П. С. Лопух (отв. ред.) [и др.]. – Мн., 2015. – С. 317–319.
10. Грищенко, Н. Д. Экологическое состояние озер в заказнике республиканского значения «Красный Бор» / Н. Д. Грищенко, И. А. Рудаковский // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2024. – Вып. 53. – С. 169–179.
11. Вознячук, И. П. Мониторинг популяции прибрежной одноцветковой и среды её произрастания в озере Свитязь (Республика Беларусь) / И. П. Вознячук, Н. Д. Грищенко, Н. Л. Вознячук // Теоретическая и прикладная экология. – 2026. – № 1. – С. 217–226. DOI: 10.25750/1995-4301-2026-1-217-226.
12. Грищенко, Н. Д. Современное состояние, динамика и прогноз изменений водной растительности озер Беларуси (в разрезе климатически детерминированных аспектов) / Н. Д. Грищенко, Н. М. Роговский // Озера Евразии: проблемы и пути их решения : материалы III Междунар. конф., г. Казань, 20–23 мая 2025 г. / редкол.: Р. Р. Шагидуллин, Н. Н. Филатов, Д. В. Иванов. – Казань : Изд-во АН РТ, 2025. – С. 653–658.
13. Изменение климата Беларуси: анализ, прогноз, адаптация (аналитическая записка) / под ред. С. А. Лысенко ; Ин-т природопользования НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2025. – 74 с.
14. Terrestrial and Inland Water Systems / J. Settele, R. Scholes, R. A. Betts [et al.] // Global and Sectoral Aspects / C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken [et al.]. – Cambridge : Cambridge University Press, 2014. – Vol. 1, ch. 4. – P. 271–360. DOI: 10.1017/CBO9781107415379.009.
15. Macrophyte decline in Danish lakes and streams over the past 100 years / K. Sand-Jensen, T. Riis, O. Vestergaard [et al.] // Journal of Ecology. – 2000. – Vol. 88. – P. 1030–1040. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2000.00519.x.
16. Global loss of aquatic vegetation in lakes / Y. Zhang, E. Jeppesen, L. Xiaohan [et al.] // Earth-Science Reviews. – 2017. – Vol. 173. – P. 259–265. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.08.013.
17. The diversity–innovation paradox in science / B. Hofstra, V. V. Kulkarni, S. Munoz-Najar Galvez [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2020. – Vol. 117, No. 17. – P. 9284–9291. DOI: 10.1073/pnas.1915378117.

18. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people / B. R. Scheffers, L. De Meester, T. C. L. Bridge [et al.] // Science. – 2016. – Vol. 354, No. 6313. – Art. aaf7671. DOI: 10.1126/science.aaf7671.
19. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems / M. Daufresne, K. Lengfellner, U. Sommer // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2009. – Vol. 106, No. 31. – P. 12788–12793. DOI: 10.1073/pnas.0902080106.
20. Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / В. М. Байчоров, Ж. В. Бакарикова, И. М. Богдевич [и др.] ; под общ. ред. В. С. Хомича. – Мн. : Беларуская навука, 2022. – 332 с.
21. Гримашевич, В. В. Климатически детерминированный прогноз ресурсов побочного лесопользования Беларуси на период до 2050 г. / В. В. Гримашевич // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.14. – С. 89–97.
22. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик, С. А. Дмитриева, Н. А. Ламан [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича Нац. акад. наук Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2020. – 407 с.
23. Состояние и экологические особенности антропогенной трансформации лесных и защитных древесных насаждений вдоль Минской кольцевой автомобильной дороги / А. В. Судник, И. П. Вознячук, Т. С. Полячок [и др.] // Проблемы озеленения крупных городов : сборник статей участников XXIII Научно-практического форума / под ред. С. Л. Рысина. – М., 2025. – С. 177–180.

Поступила в редакцию 24.05.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Судник Александр Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией оптимизации и мониторинга экосистем Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Грищенко Наталья Дмитриевна – кандидат географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Вознячук Ирина Петровна – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Савицкая Карина Леонидовна – научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Масловский Олег Мечеславович – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией ресурсов и кадастра растительного мира Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Бордок Иван Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник сектора пищевых и лекарственных ресурсов леса Государственного научного учреждения «Институт леса Национальной академии наук Беларуси»

Маховик Игорь Валентинович – научный сотрудник сектора пищевых и лекарственных ресурсов леса Государственного научного учреждения «Институт леса Национальной академии наук Беларуси»

Полячок Татьяна Сергеевна – младший научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Лапицкий Владислав Максимович – младший научный сотрудник лаборатории ресурсов и кадастра растительного мира Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Голушко Роман Михайлович – научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Основные тенденции изменения и прогноз состояния растительного мира Беларуси по результатам мониторинга / А. В. Судник, Н. Д. Грищенко, И. П. Вознячук [и др.] // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 102–127.

РЕСУРСЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА PHYTOBIOTA RESOURCES

УДК 504.062.2: 581.6: 574.36 (476)

И. П. СЫСОЙ, О. М. МАСЛОВСКИЙ, А. П. АМБРОСОВА

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В БЕЛАРУСИ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: sysoi@botany.by*

Аннотация. В статье приводится классификация и краткая история изучения растительных ресурсов, представлены методические подходы учета, оценки состояния, динамики и запасов растительного сырья в натуральном и стоимостном выражении. Рассмотрена существующая проблема их использования в стране. Предложены пути вовлечения растительных ресурсов в хозяйственный оборот Беларуси. В работе приведены результаты комплексного анализа 255 видов лекарственных растений. Определены ресурсы видов дикорастущих хозяйственно полезных растений в стране. Эксплуатационный запас сырья 82 видов лекарственных растений составляет более 385 тыс. т, 32 видов пищевых растений – более 51 тыс. т., грибов – более 29 тыс. т. Выделен 31 вид дикорастущих хозяйственно полезных растений и грибов, сырье которых целесообразно вовлекать в хозяйственный оборот.

Ключевые слова: растительные ресурсы, хозяйственно полезные, лекарственные, пищевые растения, запас сырья.

I. P. SYSOI, O. M. MASLOVSKY, A. P. AMBROSOVA

THE STATUS AND PROBLEMS OF PLANT RESOURCE USE IN BELARUS

*V. F. Kurpovich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: sysoi@botany.by*

Abstract. The article presents a classification and a brief history of the study of plant resources, outlining methodological approaches for inventorying and assessing the condition, dynamics, and stocks of plant raw materials in physical and value terms. The current problem of their use in the country is examined, and ways to use plant resources into Belarus economic are proposed. The study also presents the results of a comprehensive analysis of 255 medicinal plant species. In country resources of useful wild plants have been assessed. The exploitable raw material reserves amount to over 385 thousand tonnes for 82 species of medicinal plants, over 51 thousand tonnes for 32 species of food plants, and over 29 thousand tonnes for mushrooms. Thirty-one species of useful valuable wild plants and mushrooms have been identified whose raw materials are suitable for commercial utilization.

Key words: plant resources, useful, medicinal, food plants, raw material reserves.

ВВЕДЕНИЕ

Растения с давних пор всесторонне используются в хозяйственных целях. Они являются источником питания, сырья в промышленном производстве, строительных материалов, средством лечения различных заболеваний и др. Природная флора сосудистых растений Беларуси обладает значительным ресурсным потенциалом, включает около 1200 видов хозяйственно полезных

растений, что составляет более 60% от ее общего состава [1]. Они используются как источники сырья для фармацевтической, пищевой, парфюмерной промышленности, в кормопроизводстве и других отраслях. Изучение ресурсов видов хозяйственно полезных растений является весьма перспективным направлением. При рациональном их использовании имеется значительный по-

тенциал для повышения экспорта как обычного растительного сырья, так и готовой продукции на его основе. В связи с этим целью работы явились обобщение, анализ состояния и проблем использования растительных ресурсов Беларуси, оценка ресурсного потенциала видов дикорастущих хозяйственно полезных растений на территории всех административных районов страны. Для достижения цели нами поставлены следующие задачи:

- проанализировать разностороннее использование видов хозяйственно полезных растений в стране;

Классификация видов хозяйственно полезных растений

Для систематизации разнообразия хозяйственно полезных растений международной группой специалистов во главе с F. E. M. Cook разработан стандарт описания использования растений «Economic botany data collection standard» [2], применение которого позволяет охватить практически все возможные варианты использования растений. Он представляет собой многоуровневую классификацию использования растений.

Первый уровень включает 13 групп полезных растений:

- 1 – пищевые растения;
- 2 – пищевые добавки;
- 3 – кормовые растения;
- 4 – медоносные растения;
- 5 – кормовые растения для беспозвоночных, имеющих практическое значение (например, тутовый шелкопряд);
- 6 – растения, источники продуктов и материалов (масличные, дубильные, древесные и т.д.);
- 7 – растения-заменители горючих материалов;
- 8 – растения социальной значимости (растения, предназначенные для курения и т.д.);
- 9 – яды для позвоночных животных;
- 10 – яды для беспозвоночных животных;
- 11 – лекарственные растения (включая виды, используемые в ветеринарии);
- 12 – экологически значимые растения (декоративные, закрепители почв и т.д.);
- 13 – дикорастущие сородичи культурных растений.

Большинство этих групп подразделяется на группы *второго уровня*. Например, использование растений в качестве лекарственных подразделяется на 24 группы (заболевания нервной, сердечно-сосудистой и пищеварительной систем, кожные болезни и т.д.).

Третий уровень классификации включает группы, выделяемые по используемым частям растений [2].

- обобщить информацию по классификации и истории изучения растительных ресурсов;

- описать методические подходы учета, оценки состояния, динамики и запасов растительного сырья в натуральном и стоимостном выражении;

- определить запасы и возможные объемы ежегодной заготовки сырья видов дикорастущих хозяйственно полезных растений и грибов на территории всех административных районов и по областям;

- выделить виды, перспективные для заготовок растительного сырья;

- предложить пути вовлечения растительных ресурсов в хозяйственный оборот Беларуси.

В Беларуси выделяют 11 ресурсных групп видов. Среди основных ресурсных групп – технические, пищевые, кормовые, лекарственные, средообразующие, ветеринарные, декоративные [1, 3, 4].

Группа 1. Технические растения. Основные подгруппы: дубильные (содержат в клеточном соке клеток коры, стебля, листьев, плодов большое количество дубильных веществ), красильные, волокнистые, смолоносные, эфирно-маслянистые.

Группа 2. Пищевые растения. Основные подгруппы: плодово-ягодные, орехоплодные, овощные и салатные, пряно-ароматические.

Группа 3. Кормовые растения.

Группа 4. Лекарственные растения. Основные подгруппы, используемые при заболеваниях: нервной системы (успокаивающего, снотворного, противосудорожного, обезболивающего и др. действия), верхних дыхательных путей (в первую очередь отхаркивающие), сердечно-сосудистых (неврозах сердца, сердечной недостаточности, стенокардии, атеросклерозе), желудка (обволакивающие, вяжущие, улучшающие аппетит, повышающие секрецию желудочного сока), кишечника (слабительные, ветрогонные, антисептики), почек и мочевого пузыря (мочегонные, противовоспалительные, при мочекаменной болезни), глистогонные и др. Лекарственные растения, произрастающие в Беларуси, применяются также при заболеваниях желчного пузыря, гинекологических заболеваниях, нарушении обмена веществ и других.

Группа 5. Средообразующие растения. Подгруппы: фитомелиоративные, гумусонакапливающие, влагоудерживающие, заболочивающие и др.

Группа 6. Ветеринарные растения – используются при заболеваниях домашних животных.

Группа 7. Декоративные растения.

Группа 8. Биоцидные растения. Подгруппы: инсектицидные, аскарицидные, фунгицидные, бактерицидные, антивирусные, антималярийные, протистоцидные, антифаговые, гельминто-

цидные, антимикробные, антипротозойные, антидизентерийные, антисептические, а также как особая подгруппа – репеллентные (отпугивающие насекомых).

Группа 9. Индикаторные растения. Подгруппы: поллютантоиндикаторные, азотоиндикаторные, карбонатоиндикаторные, элементоиндикаторные, гумусоиндикаторные и др.

Группа 10. Этнические растения. Подгруппы: культовые, обрядовые, магические, символные, мемориальные, фольклорные, геральдические, нумизматические и др.

Группа 11. Медоносные растения.

Высокую ценность представляет группа лекарственных растений, поскольку в настоящее время возрастает спрос на использование растений в качестве лекарственного сырья, источника биологически активных веществ, различных химических веществ для производства лекарственных средств.

По характеру применения лекарственные растения подразделяются на растения, используе-

мые в научной (официальной) и народной медицине [5].

По используемым частям лекарственные растения подразделяются на подгруппы: веточные, коровые, стеблевые, травяные, листовые, почечные, корневые, корнеплодные, корневищные, клубневые, клубеньковые, клубнелуковичные, луковичные, цветочные, плодовые, семенные, пыльцевые, соковые и др. [3].

На территории Беларуси в качестве лекарственных растений могут использоваться более 250 видов [5]. Государственной Фармакопеей Республики Беларусь разрешено к медицинскому применению 182 вида растений, из которых 85 видов лекарственных растений природной флоры Беларуси [6].

Лекарственные растения достаточно широко распространены на территории страны и произрастают в различных растительных сообществах: лесных, луговых, болотных, в кустарниковых зарослях, поймах рек, а также в разнообразных синантропных местообитаниях [5].

История изучения и основные направления исследований хозяйственно полезных растений на территории Беларуси

В результате всестороннего анализа литературных источников выделены основные вехи развития направления исследований хозяйственно полезных растений на территории страны. Ввиду значительного объема проанализированного библиографического материала в список литературы включены лишь ключевые первоисточники. Ссылки на остальные работы оформлены непосредственно в тексте статьи с указанием автора и года публикации в круглых скобках.

Изучение и применение хозяйственно полезных растений в Беларуси началось в глубокой древности. Знания о полезных свойствах растений передавались из поколения в поколение [5, 7]. Одним из первых памятников древнерусской письменности был «Изборник Святослава», переведенный с греческого подлинника в 1073 г. Он, наряду с другими сведениями, содержал описания различных болезней, способы их лечения, распространенных растительных средств [5]. В последующий период появилось множество лечебников, травников, которые переводились, переписывались и распространялись с большой скоростью [5, 7].

В период с XVI в. по XVII в. впервые получил степень доктора медицины выдающийся деятель белорусской культуры – Франциск (Георгий) Скорина, который занимался также медициной и ботаникой. Начали появляться доктора и аптекари в Бресте, Полоцке, Могилеве, Гродно и других городах. В это время появляются медицинские книги, именуемые «Ветрограды», в которых

приводились описания лекарственных растений и рецепты на их основе [5, 8].

В период с XVIII в. по XIX в. издана первая русская гражданская фармакопея, в состав которой вошли 302 вида лекарственных растений. В г. Гродно французский ученый, ботаник и доктор Ж. Э. Жилибер организовал врачебную школу, Королевский ботанический сад, Гродненскую медицинскую академию (первое высшее учебное заведение на территории нынешней Беларуси, действовавшее до 1781 г.), при которой работала аптека (сейчас гродненская аптека-музей) и находился аптекарский огород, где выращивали лекарственные и пряно-ароматические растения [5, 9]. Результатом исследований ряда известных ученых послужили труды с описанием ряда растений с указанием их использования (J. E. Gilbert, 1781, 1782; S. B. Jundzill, 1791; A. K. Бошняк, 1820, 1821 и др.).

В 1920-х гг. в журнале «Виленский фармацевтический справочник» печатали заметки по флоре Литвы и Беларуси, сообщения врачей и фармацевтов о лекарственных растениях. В «Протоколах заседаний Виленского медицинского общества» печатались статьи, посвященные использованию лекарственных растений [5].

В середине – конце XIX в. опубликованы историко-географические и статистические обзоры отдельных губерний Беларуси – Витебской, Гродненской, Минской, Могилевской, которые содержали очерки о флоре, а также списки, описания и сведения о применении растений, упо-

требляемых в официальной и народной медицине (А. А. Антонов, 1888; Р. Х. Пабо, К. А. Чоловский, 1853, 1882 и др.). В различных этнографических работах этого времени указывались данные о применении лекарственных растений в народной медицине (П. М. Шпилевский, 1853, 1854, 1855; Е. Р. Романов, 1891, 1903; Э. Б. Ожешко, 1888, 1890, 1891 и др.). В эту эпоху наряду с аптеками создавались травяные лавки, начали возделывать лекарственные растения в промышленных целях (Н. А. Игнатович-Сушинский, 1894).

В конце XIX – начале XX вв. развиваются транспортные связи и международная торговля, что привело к расширению ассортимента импортных лекарственных растений за счет уменьшения числа отечественных. Во время Первой мировой войны ввоз лекарств прекратился. Назрела необходимость развития промысла сбора и культуры лекарственных растений [5]. До революции были организованы лишь единичные фармакохимические лаборатории и плантации лекарственных растений [8]. Вновь появляется литература по лекарственным растениям, их биологии и морфологии, ряд инструкций для заготовителей растительного сырья с описанием лекарственных растений и правилами их сбора и сушки, по культуре отдельных видов (А. Краскоўскі, 1921, 1924; С. Гутин, Б. Ульпи, 1922; Я. Кіпель, 1926; Д. Васілеўскі, 1927; К. Гурвіч, 1929; А. Х. Жаўрыд, 1929 и др.).

В 1930-е гг. приняты специальные законодательные акты о сборе и культуре лекарственных растений, созданы специализированные опытные станции данных растений, впервые начинают увязывать урожайность ягодных растений с типом леса и полнотой лесонасаждения (В. А. Фиженко, 1935; А. С. Вечар, Ф. Ф. Захарыч, 1935).

С начала 1940-х гг. наблюдается развитие отечественного лесного ресурсоведения. Исследователи стремились уточнить особенности семенного размножения кустарничков и запасы ягодного сырья (М. Д. Данилов, 1943, 1946; А. К. Авдошенко, 1948 и др.).

С 1949 г. по 1959 г. создана крупнейшая в истории Беларуси сводка по растениям – пятитомная «Флора БССР», в которой дана полная характеристика всех известных на то время видов сосудистых растений флоры Беларуси с указанием их эколого-фитоценотической приуроченности, географического распространения, народнохозяйственного значения и рационального использования.

Для интенсивного восстановления послевоенного хозяйства страны проводили всестороннее изучение и освоение растительных ресурсов (Н. В. Козловская, А. П. Пидопличко, В. А. Ми-

хайловская, Е. А. Круганова, Е. В. Иванова и др.). С целью рационального использования лекарственных растений и необходимостью их идентификации населением белорусскими ботаниками опубликованы специализированные труды (Д. К. Гесь, Н. В. Козловская, В. А. Михайловская, Г. Ф. Рыковский и др.).

В 1960–1980 гг. большое внимание уделяется изучению плодоношения ресурсных растений в связи с географической зональностью, вертикальной поясностью, типами условий местопроизрастания, рубками леса (Н. М. Березенко, П. Н. Райко, В. И. Саутин, В. Б. Гедых, З. Г. Валова, Т. И. Бобровникова, М. Я. Арещенко, Ф. Ф. Захарич, П. К. Красильников, А. А. Никитин, А. С. Паламарчук, Г. Л. Паламарчук, В. А. Хилькевич, Э. В. Фриш, И. Д. Юркевич, Э. П. Ярошевич и др.). Проводились исследования по изучению способов увеличения урожайности видов дикорастущих растений (З. Г. Валова, В. Б. Гедых, П. Н. Райко, Т. И. Бобровникова, В. И. Саутин и др.).

К этому времени появились публикации отечественных ученых по методам учета запасов и урожайности ресурсных растений: Н. А. Борисовой, Ф. Ф. Бурака, В. И. Саутина, З. Г. Валовой, Ю. Е. Моисеенко, В. Б. Гедыха, С. Н. Козьякова, И. Л. Крыловой, А. И. Шретера, Л. Е. Курлович, И. В. Бочарова, А. Ф. Черкасова, К. А. Миронова, В. В. Шутова. Начались работы по оценке запасов определенных лекарственных растений в некоторых типах леса в отдельных регионах (А. С. Паламарчук и др., 1975).

С целью научно обоснованного использования лекарственных растений получены данные о распространении и запасах сырья более 30 видов, которые опубликованы в работах Ф. И. Ненадовича, В. И. Парфенова, И. Ф. Мазана, Н. В. Козловской, П. Н. Райко, В. И. Саутина, А. С. Паламарчука, И. М. Яковлевой, В. С. Булат. В 1979 г. В. И. Парфеновым, Г. Ф. Рыковским, Ф. И. Ненадовичем разработана «Инструкция о порядке и правилах сбора лекарственных растений на территории государственных ботанических заказников дикорастущих лекарственных растений республиканского значения».

В начале XXI в. Г. С. Гигевичем, Б. П. Власовым и Г. В. Вынаевым проведена оценка запасов сырья высших водных растений в озерах Беларуси, выделены их ресурсные группы. Разработана методика оценки ресурсной значимости растений. По результатам их исследований в 2001 г. опубликована монография, в которой приведены данные по общим биологическим запасам и хозяйственному использованию высших водных растений, а также рассматриваются вопросы ох-

раны и рационального использования редких, исчезающих и ресурсообразующих видов высших водных растений [3].

В 2002 г. создан Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь, в котором до настоящего времени ведется кадастровая книга хозяйственно ценных растений.

В этот период проводятся исследования по изучению эколого-ценотических, фитохимических и ресурсных особенностей популяций некоторых видов лекарственных растений северо-западной части Беларуси, работы по комплексному исследованию пищевых растений и оценке ресурсов дикорастущих ягод (В. Б. Гедых, 2002; В. В. Гримашевич, 2002, 2003, 2006; О. В. Созинов, Н. А. Кузьмичева, 2002, 2003, 2004; О. В. Созинов и др., 2003; В. В. Гримашевич и др., 2003, 2005; Н. А. Кузьмичева и др., 2003, 2004; Г. М. Милоста, О. В. Созинов, 2004; О. В. Созинов, 2005; О. В. Морозов, 2006 и др.).

В последнее десятилетие опубликовано 4 тома фундаментального труда «Флора Беларуси. Сосудистые растения», где для каждого вида приводится хозяйственное значение.

Появились исследования по возможности использования геоинформационных технологий, данных аэро- и космосъемки в ботаническом ресурсоведении и оптимизации существующих методов определения запасов лекарственного сырья, а также разработке новых методик и экспресс-методов оценки обилия, площади зарослей, растительных ресурсов (Г. Н. Бузук, О. В. Созинов, 2014; Д. Г. Груммо, О. В. Созинов, 2015; О. В. Созинов, 2015, 2016; Г. Н. Бузук, 2016; О. В. Созинов, Г. Н. Бузук, 2017; И. П. Сысой, 2019; А. И. Садковская, О. В. Созинов, 2020, 2023; О. В. Созинов, 2022; П. П. Филипчик, О. В. Созинов, 2023 и др.).

Начаты работы по созданию ресурсных карт отдельных видов лекарственных растений в не-

которых регионах страны на основе геоинформационных технологий (Д. Г. Груммо, О. В. Созинов, 2015; О. В. Созинов и др., 2018; Национальный атлас Беларуси, 2024 и др.).

Появились работы по стоимостной оценке запасов сырья лекарственных растений (А. В. Неверов и др., 2022, 2023; И. П. Сысой, 2022 и др.).

Проводятся исследования по оценке ресурсного потенциала лекарственных растений в различных регионах страны (О. Л. Канделинская и др., 2018; О. М. Масловский, 2019; Н. А. Зеленкевич и др., 2019; А. И. Садковская, О. В. Созинов, 2020, 2023, 2024; Д. Г. Груммо и др., 2022; О. В. Созинов, А. И. Садковская, 2022; И. П. Сысой, 2019, 2023, 2024; А. П. Амбросова, И. П. Сысой, 2025 и др.).

В последнее время проводится активная работа по изданию научно-популярной литературы по хозяйственно полезным растениям (В. Н. Лебедько, 2020; С. С. Савчук, 2023; А. И. Чайковский и др., 2024; С. С. Савчук, В. Н. Лебедько, 2025; В. Н. Лебедько и др., 2025, 2026; С. С. Савчук, В. Н. Лебедько, 2026 и др.).

Анализ изученности хозяйственно полезных растений природной флоры страны показал, что не для всех видов известны урожайность и запасы сырья в конкретном регионе страны, точно не установлены и научно не обоснованы объемы возможного изъятия растительных ресурсов, чтобы их заготовка не вела к деструкции популяций. Вследствие этого определение урожайности, региональная оценка запасов сырья и современного состояния видов хозяйственно полезных растений является одним из перспективных и важных направлений исследований. При научно обоснованных контролируемых заготовках наносимый при этом ущерб биологическому разнообразию и природной среде может быть сведен к минимуму.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Существует много различных подходов для определения объемов заготовки сырья дикорастущих растений: «Методика определения запасов лекарственных растений» (1986); «Методика выявления дикорастущих сырьевых ресурсов при лесоустройстве» (1986); «Рекомендации по определению ресурсов дикорастущих ягодных растений при лесоустройстве в Белорусской ССР» (1988); «Методические рекомендации по инвентаризации и картированию особо ценных в хозяйственном отношении, редких и исчезающих видов растений» (1998); «Методика определения запасов плодов дикорастущих ягодных растений и грибов на территории Республики Беларусь» (2003); «Инструкция о порядке проведе-

ния оценки ресурсов растительного мира» (2007), [9, 10, 11, 12] и другие.

Для комплексной региональной оценки мы применяли разработанный нами алгоритм кадастровой оценки сырья хозяйственно полезных растений, который основывается на сочетании различных методик, максимально полном учете информации об исследуемых объектах и на дифференцированном подходе к оценке урожайности и запасов конкретных видов растений в различных сообществах и условиях среды. Обобщенная схема алгоритма региональной оценки запасов и возможных объемов ежегодного использования растительного сырья представлена на рис. 1 [10, 11, 12].

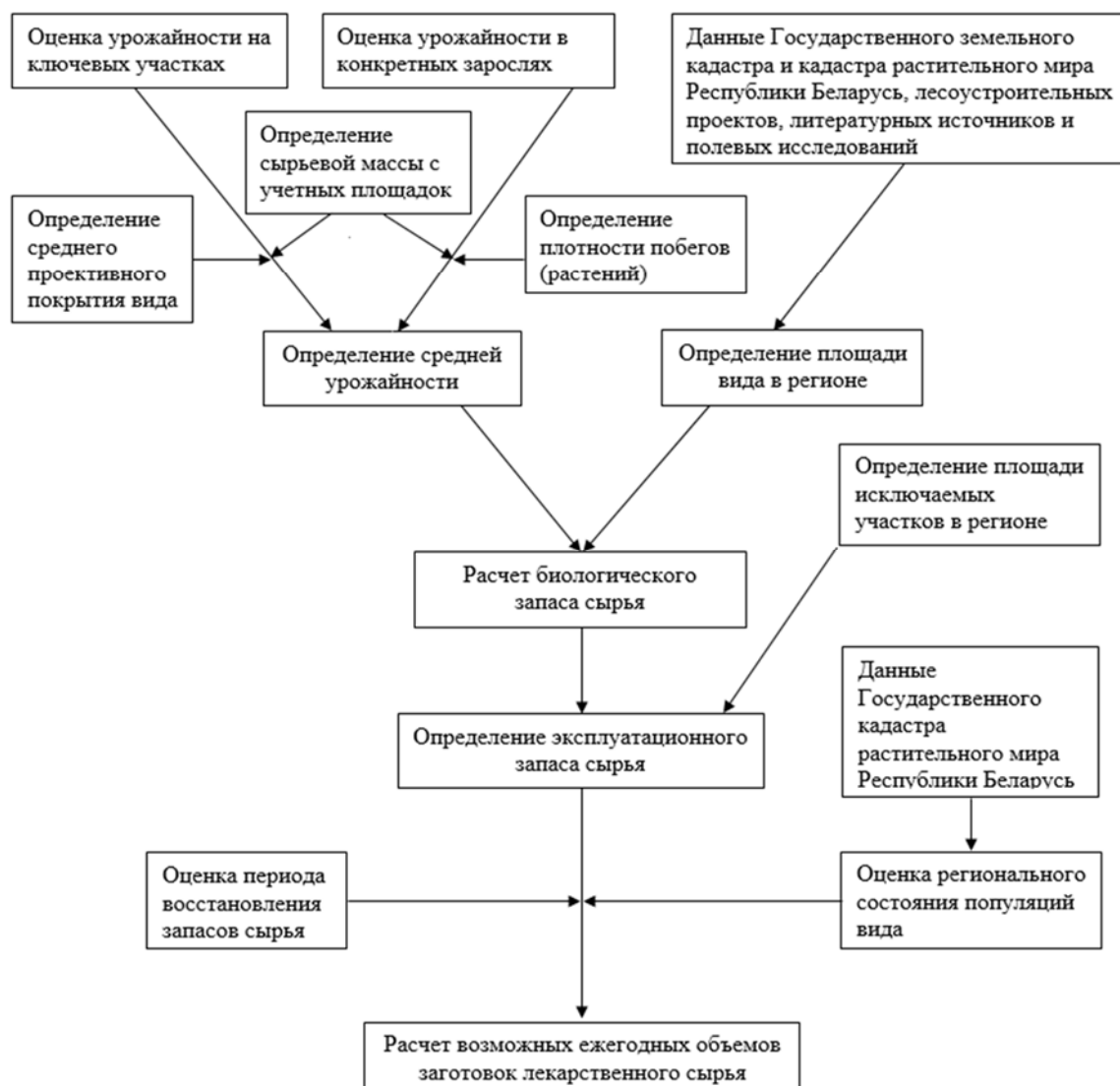


Рис. 1. Алгоритм региональной кадастровой оценки запасов видов хозяйственно полезных растений

Fig. 1. Algorithm for regional cadastral estimation of resources of useful plant species

Таким образом, при региональной оценке запасов растительного сырья учитывали следующие параметры:

- пространственное распределение видов хозяйственно полезных растений,
- их приуроченность к конкретным сообществам,
- степень участия видов в разных экосистемах и в зависимости от различных эколого-фитоценологических факторов,
- проективное покрытие и урожайность исследуемых видов в разных фитоценозах,
- площадь конкретных зарослей видов хозяйственно полезных растений,
- площадь угодий, к которым приурочены изучаемые виды растений, и процент площади, занятый зарослью ресурсобразующего вида.

Работы по определению региональных запасов сырья хозяйственно полезных растений

включают в себя следующие основные этапы [10, 11, 12]:

1) Обработка лесотаксационных данных с помощью специализированных программ.

Для получения информации об основных лесных породах, типах леса на территории конкретного лесхоза, наличии растительного сырья, площади зарослей и проективного покрытия видов хозяйственно полезных растений нами разработаны специальные компьютерные программы «Preobraz», «Taks_4» и «Taksosum», которые позволяют проводить различную статистическую обработку информации, содержащейся в таксационных описаниях. При определении эксплуатационного запаса растительного сырья учитывались площади, не пригодные для заготовок. Компьютерная программа «Taksosum» позволяет учесть эти участки. С ее помощью определялись площади территорий, на которых нель-

зя заготавливать сырье, а также проективное покрытие видов хозяйственно полезных растений и суммировалась информация в пределах лесничеств и лесхозов.

Для обработки лесотаксационных материалов нами разработана еще одна специализированная компьютерная программа «Taksopis», при использовании которой выделялась необходимая информация по конкретному выделу лесничества, а затем обобщалась в зависимости от того или иного запроса пользователя. Все программы созданы в операционной среде Delphi 7, являются специализированными, носят вспомогательный характер и встроены в информационную компьютерную систему «Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь» для автоматической записи информации в соответствующие базы данных. Таким образом, программы «Preobraz», «Taks_4», «Taksosum» и «Taksopis» позволили выделить и суммировать необходимую информацию в соответствии с определенными критериями и оригинальным алгоритмом. В результате использования данных программ из таксационных материалов оперативно извлечена необходимая информация о лесных видах хозяйственно полезных растений с целью определения их запасов и возможных объемов ежегодных заготовок сырья в пределах лесничеств и лесхозов.

2) Определение общей площади популяций видов хозяйственно полезных растений в рамках конкретного региона и площади популяций в разных растительных сообществах.

Площадь определяли непосредственно на местности, а также с помощью картографических и таксационных материалов с использованием ранее рассмотренных специализированных программ. Если популяции изучаемого вида располагались неравномерно в пределах фитоценоза, то учитывался процент площади, занятой изучаемым видом.

Разработанной нами специальной компьютерной программой «Kadastr» обрабатывались также данные Государственного земельного кадастра Республики Беларусь, полевые и литературные материалы с последующим расчетом площади и количества мест произрастания видов хозяйственно полезных растений. При этом учитывалась также и частота их встречаемости. Суммирование площадей в рамках административных районов осуществлялось с помощью этой же программы.

3) Оценка площадей, на которых нельзя заготавливать сырье.

При расчетах эксплуатационного запаса и возможных объемов ежегодных заготовок расти-

тельного сырья исключались участки, на которых нельзя проводить сбор растений (территории радиационного загрязнения лесного фонда; особо охраняемые природные территории; зеленые зоны городов и населенных пунктов, находящиеся в зонах техногенного загрязнения; лесопарковые части зеленых зон, используемые в рекреационных целях; участки городских лесов и лесопарков; защитные полосы вдоль автомобильных и железных дорог). Их площади определялись по картографическим, лесотаксационным и полевым материалам. Расчет и суммирование площадей из таксационных описаний осуществляли с помощью компьютерной программы «Taksosum».

4) Анализ распределения видов по растительным сообществам.

Для выявления особенностей произрастания видов хозяйственно полезных растений нами проведено изучение их встречаемости и распределения по разным растительным сообществам и в зависимости от наиболее значимых факторов среды. Данная фактографическая информация является основой для определения частоты встречаемости изучаемых видов, их среднего проективного покрытия и урожайности в разных фитоценозах.

5) Определение среднего проективного покрытия видов по разным типам сообществ.

Анализ лесотаксационных данных, материалов полевых исследований, литературных источников позволил определить среднее проективное покрытие видов в различных сообществах. При региональной оценке запасов сырья применялось 2 подхода для определения проективного покрытия:

- а) при однородной структуре лесной растительности брали среднее проективное покрытие изучаемого вида растений по разным типам леса;
- б) при неоднородной структуре лесной растительности определяли проективное покрытие изучаемого вида для конкретного сообщества.

Данные по частоте встречаемости и среднему проективному покрытию использованы для расчета площади вида в регионе с помощью специализированной разработанной нами программы «Kadastr».

6) Определение региональных запасов и объемов возможных ежегодных заготовок сырья видов хозяйственно полезных растений.

Для оценки региональных запасов сырья необходимо знать 2 показателя: площадь вида в регионе и его среднюю урожайность.

Ресурсы исследуемых видов хозяйственно полезных растений определялась непосредственно в конкретных зарослях по общепринятым мето-

дикам [12, 13]. Урожайность определяли методом учетных площадок в конкретных зарослях: вычисляли среднюю арифметическую массы сырья на единице площади с учетом ошибки средней арифметической ($M \pm m$). Для расчета запасов сырья в натуральном и стоимостном выражении использована специализированная компьютерная программа «Kadastr», которая позволяет оперативно и эффективно рассчитать запасы и возможные объемы заготовки сырья дикорастущих хозяйственно полезных растений по общепринятым формулам 1 и 2 [14]:

$$Z_i = \sum_{ij} Y_{ij} \times S_{ij} \times K_{эд} \quad (1)$$

$$C_i = Z_i \times \frac{\Pi_i}{100} \times K_c \times B \times \frac{q_{эк}}{q_э} \quad (2)$$

где Z_i – эксплуатационный запас i -го вида дикорастущих растений, кг;

i – вид дикорастущих растений, относящийся к некультивируемым биологическим ресурсам;

Y_{ij} – урожайность i -го вида дикорастущих растений, относящегося к некультивируемым биологическим ресурсам, в экосистеме j -го типа на конец базового периода, кг/га;

S_{ij} – площадь оцениваемой экосистемы j -го типа, где произрастает i -й вид дикорастущих растений, га;

$K_{эд}$ – конверсионные коэффициенты экономической доступности. В среднем для видов дикорастущих хозяйственно полезных растений $K_{эд}$ принимается равным 0,5 [12];

C_i – стоимостная (капитальная) оценка i -го вида некультивируемого биологического ресурса растительного происхождения, руб.;

Π_i – возможный объем ежегодных заготовок сырья i -го вида (не должен превышать процент его прироста) в процентах;

K_c – коэффициент, учитывающий ресурсную стоимость i -го вида, эквивалентную стоимости возмещения вреда при утрате ресурса в базовых величинах, б.в./кг [15];

B – размер базовой величины, установленный законодательством на дату оценки запасов некультивируемых биологических ресурсов растительного происхождения, руб.;

$q_{эк}$ – капитализатор (норма дисконта) экологической сферы, значение которого обратно пропорционально сроку воспроизводства потребляемого природного вещества, составляющего основу естественной экологической системы определенного типа [16];

$q_э$ – капитализатор (норма дисконта) экономической сферы, принимается на уровне 0,05 [16].

Суммарная оценка каждого i -го вида ресурса определяется путем суммирования результатов расчета по каждому j -му типу экосистем.

Возможные ежегодные объемы заготовок сырья рассчитывали как частное от деления эксплуатационного запаса сырья на оборот заготовки, включающий период заготовки и продолжительность периода восстановления заросли по формуле 3:

$$V_{вез} = \frac{Z}{t_{загот.} + t_{восст.}} \quad (3)$$

где $V_{вез}$ – возможные ежегодные объемы заготовок сырья, кг;

Z – эксплуатационный запас сырья, кг;

$t_{загот.}$ – период заготовки, лет;

$t_{восст.}$ – период восстановления, лет.

Данные по объемам возможных ежегодных заготовок сырья явились основой при расчетах норм изъятия дикорастущих растений в каждом административном районе и подготовке рекомендаций по рациональному использованию растительных ресурсов.

7) Оценка динамики запасов сырья

Проведение повторных исследований через определенный момент времени на заложенных пробных площадях позволило проследить динамику запасов и состояния изучаемых видов хозяйственно полезных растений. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем для прогнозирования запасов и оценки состояния данных видов растений на территории Республики Беларусь.

По разработанному алгоритму рассчитаны запасы растительных ресурсов в каждом административном районе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами проведен разносторонний анализ основных 255 видов лекарственных растений, которые разрешены Государственной Фармакопеей Республики Беларусь к применению, а также виды, часто используемые в народной медицине [3–6, 8, 10]. Проанализированы приуроченность исследуемых видов к фитоценозам, их жизненные формы, хозяйственная значимость и др.

В результате флористического анализа установлено, что виды лекарственных растений природной флоры Беларуси принадлежат к 70 семей-

ствам, из которых 55 семейств относятся к классу двудольных, 7 – однодольных, 3 – папоротниковидных, плауновидных и хвойных – по 2, хвощевидных – 1 семейство. Представлены все отделы высших сосудистых растений: хвощеобразные – 3 вида, папоротникообразные – 4, плаунообразные – 4, голосеменные – 3, покрытосеменные – 241 вид.

По числу видов ведущие семейства распределены следующим образом: *Asteraceae* Bercht. & J. Presl – 32 вида, *Rosaceae* Juss. – 24, *Scrophular-*

iaceae Juss. – 14, *Lamiaceae* Martinov и *Apiaceae* Lindl. – по 11, *Ranunculaceae* Juss. – 10 видов. На их долю приходится 40% флоры лекарственных растений Беларуси. Все виды объединены в 200 родов. Самыми крупными по числу родов являются семейства *Asteraceae* Bercht. & J. Presl – 27, *Rosaceae* Juss. – 13, *Apiaceae* Lindl. – 11, *Lamiaceae* Martinov – 10, *Scrophulariaceae* Juss. – 9, *Caryophyllaceae* Juss. и *Ranunculaceae* Juss. – по 8, *Liliaceae* Juss. – 7, *Fabaceae* Lindl. – 6, *Boraginaceae* Juss. – 5.

В результате эколого-морфологического анализа видов лекарственных растений выделено 6 типов жизненных форм [17, 18] (табл. 1).

Анализ жизненных форм лекарственных растений показал, что большинство из них – травянистые растения, которые составляют 80%, причем в основном – это многолетние травы (рис. 2).

По хозяйственной значимости из 255 видов лекарственных растений 96 видов являются ценным источником только лекарственного сырья (38% от общего количества видов), 80 видов имеют также декоративное значение (31%), 55 видов являются пищевыми (22%), 43 – пряно-ароматическими (17%), 27 – техническими (11%), 47 – медоносами (18%), а 13 видов (3%) являются кормовыми растениями.

Анализ полученных результатов показал, что лекарственные растения широко применяются и в других сферах.

На основании проведенного эколого-ценотического анализа 255 видов лекарственных растений Беларуси выделено 35 эколого-ценотических групп по Н. Н. Цвелеву [19]. Наиболее

представительными по видовому составу являются болотные, болотно-лесные, болотно-луговые, лесные, луговые, опушечные, опушечно-лесные, опушечно-луговые группы (рис. 3).

Максимальное количество видов относится к лесной, опушечно-лесной и опушечно-луговой группам.

Таблица 1. Жизненные формы лекарственных растений

Table 1. The life form of medicinal plants species

Тип жизненных форм	Количество видов
деревья	18
кустарники	24
кустарнички	7
полукустарники	2
многолетние травянистые	149
одно-, двулетние травянистые	55

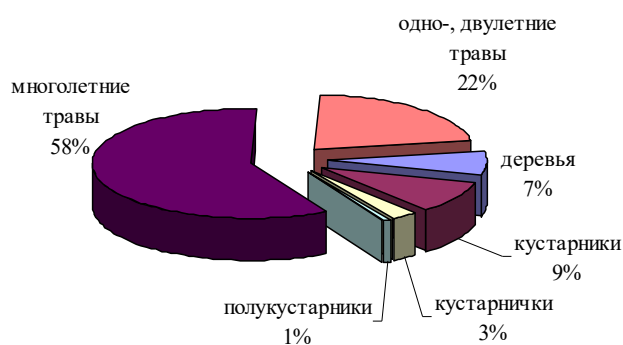


Рис. 2. Соотношение жизненных форм видов лекарственных растений

Fig. 2. The ratio of life form of medicinal plants species

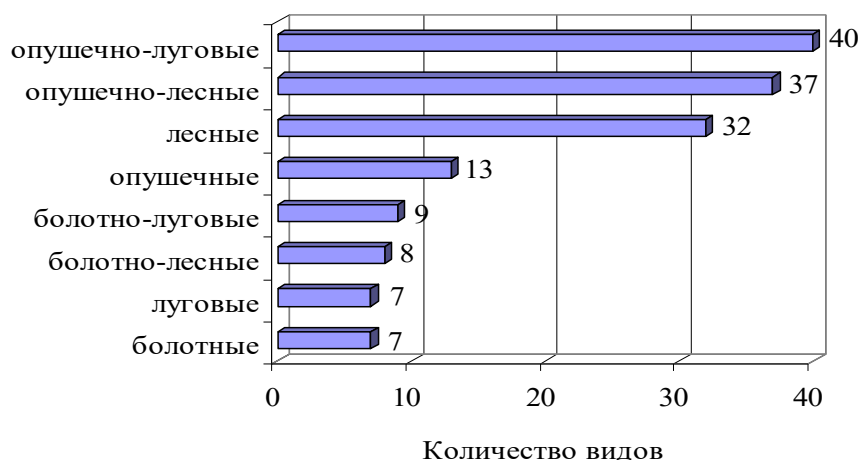


Рис. 3. Наиболее представительные по видовому составу эколого-ценотические группы лекарственных растений

Fig. 3. The most representative ecological-cenotic groups of medicinal plants in terms of species composition

Среди всего многообразия хозяйственно полезных растений выбрано 82 вида лекарственных, 32 вида пищевых растений и грибов. На основании анализа урожайности этих видов с помощью разработанного алгоритма региональной кадастровой оценки ресурсов хозяйственно полезных растений определены их запасы и возможные ежегодные объемы заготовки лекарственного сырья на территории страны.

Определены ресурсы 82 видов лекарственных растений, среди которых 75 видов, лекарственное сырье которых разрешено Государственной Фармакопеей Республики Беларусь: *Achillea millefolium* L., *Acorus calamus* L., *Agrimonia eupatoria* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench, *Althaea officinalis* L., *Angelica archangelica* L., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Arnica montana* L., *Artemisia absinthium* L., *Berberis vulgaris* L., *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh., *Bidens tripartita* L., *Bistorta officinalis* subsp. *officinalis*, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Carum carvi* L., *Centaurea cyanus* L., *Centaureum erythraea* Rafn., *Cetraria islandica* (L.) Ach., *Chelidonium majus* L., *Comarum palustre* L., *Convallaria majalis* L., *Crataegus rhipidophylla* var. *rhipidophylla*, *Crataegus monogyna* Jacq., *Datura stramonium* L., *Equisetum arvense* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Fragaria vesca* L., *Frangula alnus* Mill., *Gnaphalium uliginosum* L., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Humulus lupulus* L., *Hyoscyamus niger* L., *Hypericum maculatum* Crantz, *Hypericum perforatum* L., *Inonotus obliquus* (Pers.) Pilat., *Inula helenium* L., *Juniperus communis* L., *Leonurus cardiaca* L., *Leonurus quinquelobatus* Gilib., *Matricaria chamomilla* L., *Melilotus officinalis* (L.) Lam., *Menyanthes trifoliata* L., *Origanum vulgare* L., *Pinus sylvestris* L., *Plantago major* L., *Polemonium caeruleum* L., *Polygonum aviculare* L., *Potentilla erecta* (L.) Raeusch., *Primula veris* L., *Prunus padus* L., *Quercus robur* L., *Rhododendron tomentosum* Harmaja, *Rosa canina* L., *Rosa cinnamomea* L., *Rubus idaeus* L., *Salix alba* L., *Salix*

× fragilis L., *Salix purpurea* L., *Sambucus nigra* L., *Sorbus aucuparia* L., *Tanacetum vulgare* L., *Taraxacum* sect. *Taraxacum* F.H.Wigg., *Thymus serpyllum* L., *Tilia cordata* Mill., *Tussilago farfara* L., *Urtica dioica* L., *Urtica urens* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Valeriana officinalis* L., *Viburnum opulus* L., *Viola arvensis* Murray, *Viola tricolor* L. и 7 видов лекарственных растений, не включенных в Государственную Фармакопею Республики Беларусь, но использующихся в создании медицинских препаратов импортного производства и широко – в народной медицине: *Centaureum pulchellum* (Sw.) Hayek ex Hand.-Mazz., Stadlm., Janch. & Faltis, *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Filipendula ulmaria* subsp. *ulmaria*, *Lycopodium annotinum* L., *Lycopodium clavatum* L., *Mentha aquatica* L., *Mentha longifolia* (L.) L.

Общий запас лекарственного растительного сырья в стране в настоящее время достигает 832,6 тыс. т (табл. 2).

Наибольшие биологические запасы лекарственного сырья отмечены в Гомельской и Минской областях, наименьшие – в Гродненской и Могилевской.

Анализ полученных данных показал, что 82 учтенных вида относятся к 36 семействам. Максимальное число видов отмечено для следующих семейств: 13 для *Rosaceae* Juss., 12 для *Asteraceae* Bercht. & J. Presl, 6 для *Lamiaceae* Martinov, по 4 для *Betulaceae* Gray и *Ericaceae* Durande, 3 для *Salicaceae* Mirb.

Выявлено, что на долю 10 ведущих семейств приходится 99% от общего биологического запаса сырья исследуемых видов лекарственных растений. Наибольшие биологические запасы сырья лекарственных растений (более 200 тыс. т) отмечены для видов семейства *Pinaceae* Spreng. ex F.Rudolphi – Сосновые (370,9) и *Betulaceae* Gray – Березовые (212,7). На долю представителей этих семейств приходится 69% величины общего биологического запаса лекарственного сырья – 44 и 25% соответственно (рис. 4).

Таблица 2. Запасы и возможные объемы ежегодных заготовок воздушно-сухого сырья лекарственных растений на территории Беларуси в 2025 г.

Table 2. Resources and recommended volumes of harvesting of air-dry medicinal plant raw materials in Belarus in 2025

Область	Биологический запас, т	Эксплуатационный запас, т	Возможный объем ежегодных заготовок, т
Брестская	129002,2	64501,1	24792,2
Витебская	133668,7	66834,3	24407,6
Гомельская	213561,5	84675,7	32647,7
Гродненская	90240,8	45120,4	18097,0
Минская	156928,0	78464,0	30605,7
Могилевская	109237,9	46185,0	15911,0
Республика Беларусь	832639,1	385780,5	146461,2

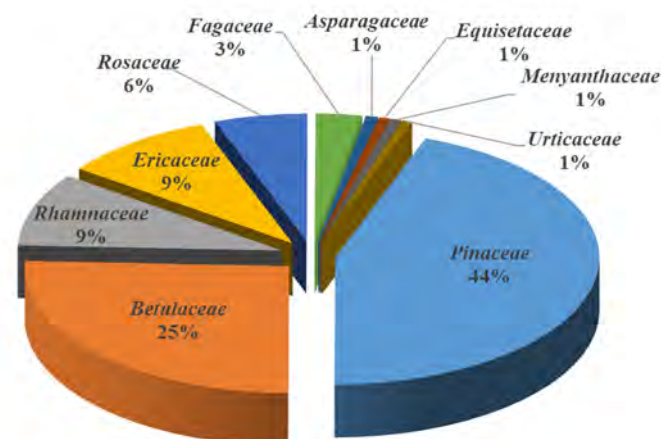


Рис. 4. Структура биологического запаса сырья лекарственных видов растений в Беларуси

Fig. 4. The structure of the biological resources of medicinal plant species in Belarus

Запасы и возможные объемы ежегодных заготовок сырья лекарственных растений определяли в пределах административных районов.

Выявлены центры концентрации запасов лекарственного сырья. Наибольшие биологические запасы лекарственного сырья (более 10 тыс. т) отмечены на территории Ивацевичского (15,3), Лунинецкого (11,5), Пинского (11,1), Пружанского (13,9) и Столинского (12,3) районов Брестской области; Городокского (11,7), Докшицкого (11,3), Полоцкого (15,2) и Россонского (12,2) районов Витебской области; Житковичского (17,7), Калининковского (16,1), Лельчицкого (27,3), Наровлянского (10,4), Петриковского (16,8), Речицкого (13,3) и Светлогорского (11,1) районов Гомель-

ской области; Гродненского района (11,6) Гродненской области; Березинского (10,8), Борисовского (12,6), Вилейского (11,0), Крупского (10,7) и Логойского (12,0) районов Минской области; Быховского (11,0), Кличевского (11,2) и Осиповичского (10,6) районов Могилевской области (рис. 5).

Наименьшие значения биологического запаса лекарственных растений (менее 2 тыс. т) выявлены в следующих районах: Жабинковский (1,6) район Брестской области; Берестовицкий (1,4) и Зельвенский (1,5) районы Гродненской области; Несвижский (1,1) район Минской области; Горещкий (1,6), Дрибинский (1,7), Кричевский (1,7), Мстиславский (1,8) и Шкловский (1,8) районы Могилевской области (см. рис. 5).

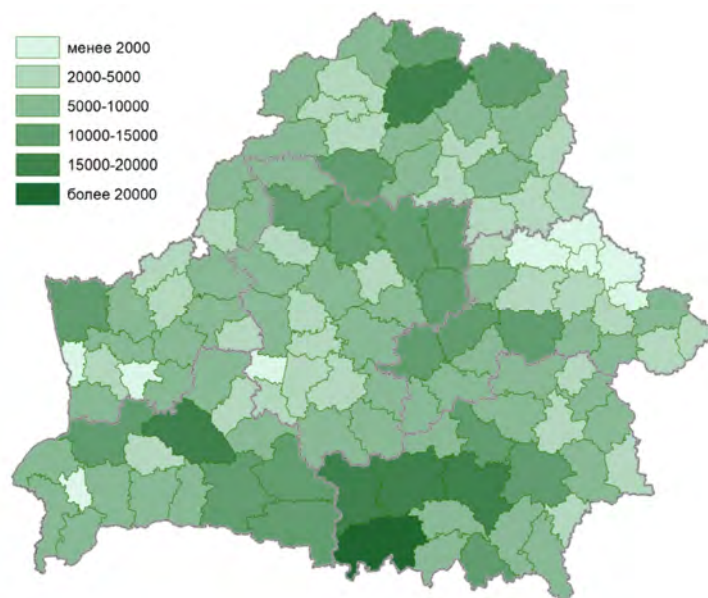


Рис. 5. Биологический запас воздушно-сухого сырья лекарственных видов растений по административным районам (в тоннах)

Fig. 5. Biological resources of raw materials of air-dry medicinal plant species by administrative districts (in tons)

Проведены исследования по оценке ресурсов 25 видов пищевых растений и 7 грибов: *Ame-lanchier* × *spicata* (Lam.) K.Koch, *Armillariella mellea* (Fr.) Karst., *Boletus edulis* Bull., *Can-tharellus cibarius* Fr., *Carum carvi* L., *Cichorium intybus* L., *Corylus avellana* L., *Fragaria vesca* L., *Hierochloë australis* (Schrud.) Roem. et Schult., *Hierochloë odorata* (L.) P. Beauv., *Leccinum auranti-acum* Fr.: S. F. Gray, *Leccinum scabrum* Fr.: S. F. Gray, *Mentha aquatica* L., *Mentha longifolia* (L.) L., *Origanum vulgare* L., *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L., *Ribes spicatum* E. Robson, *Rosa canina* L., *Rosa cinnamomea* L., *Rubus caesius* L., *Rubus*

idaeus L., *Rubus saxatilis* L., *Rumex acetosa* L., *Sor-bus aucuparia* L., *Suillus luteus* (L.) Roussel, *Vac-cinium myrtillus* L., *Vaccinium oxycoccos* L., *Vaccin-ium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vibur-num opulus* L., *Xerocomus badius* (Fr.) E.-J. Gilbert.

Для ягод и грибов запасы сырья определялись в сыром виде, а для побегов, листьев и цветков в воздушно-сухом виде.

Общий биологический запас пищевых расте-ний составляет 111,1 тыс. тонн. Наибольшие био-логические запасы пищевых растений отмечены в Гомельской и Минской областях, наименьшие – в Гродненской и Могилевской (табл. 3).

Таблица 3. Запасы и возможные объемы ежегодных заготовок сырья пищевых растений в Беларуси в 2025 г.

Table 3. Resources and recommended volumes of harvesting of food plant raw materials in Belarus in 2025

Область	Биологический запас, т	Эксплуатационный запас, т	Возможный объем ежегодных заготовок, т
Брестская	17228,1	8614,0	6269,1
Витебская	17798,8	8899,4	6325,2
Гомельская	28695,7	11461,7	8133,0
Гродненская	11432,7	5716,4	4151,3
Минская	21290,3	10645,2	7618,9
Могилевская	14629,3	6036,2	4210,1
Республика Беларусь	111074,9	51372,9	36707,6

Анализ полученных данных показал, что 25 учтенных видов относятся к 10 семействам. Максимальное число видов отмечено для следующих семейств: 8 для *Rosaceae* Juss., 4 для *Ericaceae* Durande, по 3 для *Grossulariaceae* DC. и *Lamiaceae* Martinov. На долю семейства *Ericaceae* Durande приходится 82% от общего биологического запаса сырья исследуемых видов пищевых растений.

Проанализировав пространственное распределение биологического запаса сырья 25 видов пищевых растений, нами выявлены центры их концентрации на территории страны. Максимальный биологический запас данных растений (более 1,5 тыс. т) отмечен на территории Ивацевичского (1,8), Лунинецкого (1,5), Пинского (1,6), Пружанского (1,9) и Столинского (1,7) районов Брестской области; Полоцкого (2,1) и Рос-сонского (1,6) районов Витебской области; Житковичского (2,5), Калинковичского (2,1), Лельчицкого (4,2), Петриковского (2,2) и Речицкого (1,5) районов Гомельской области; Березинского (1,5), Борисовского (1,5), Вилейского (1,6) и Логойского (1,6) районов Минской области; Быховского (1,5) и Кличевского (1,6) районов Могилевской области (рис. 6).

Минимальный биологический запас сырья пищевых растений (менее 0,5 тыс. т) выявлен в

следующих районах: Березовский (0,5) и Жабинковский (0,2) районы Брестской области; Бешенковичский (0,3), Дубровенский (0,3), Лиозненский (0,5), Оршанский (0,3), Чашникский (0,4) и Шарковщинский (0,4) районы Витебской области; Буда-Кошелевский (0,4) и Кормянский (0,4) районы Гомельской области; Берестовицкий (0,1), Волковысский (0,3), Вороновский (0,4), Зельвенский (0,2), Кореличский (0,4), Лидский (0,5) и Ошмянский (0,5) районы Гродненской области; Дзержинский (0,4), Клецкий (0,3), Копыльский (0,2) и Несвижский (0,1) районы Минской области; Горецкий (0,2), Дрибинский (0,2), Кричевский (0,2), Круглянский (0,3), Мстиславский (0,2), Хотимский (0,5), Чаусский (0,4) и Шкловский (0,2) районы Могилевской области (см. рис. 6).

Проведены исследования по оценке ресурсов 7 видов грибов. Наибольшие запасы грибов выявлены в Витебской и Минской областях (табл. 4).

Среди исследуемых видов грибов максимальные запасы отмечены для лисички (11647,3 т) и подберезовика (6660,0 т).

Анализ пространственного распределения эксплуатационных запасов грибов на территории Беларуси позволил выявить центры их концентрации.

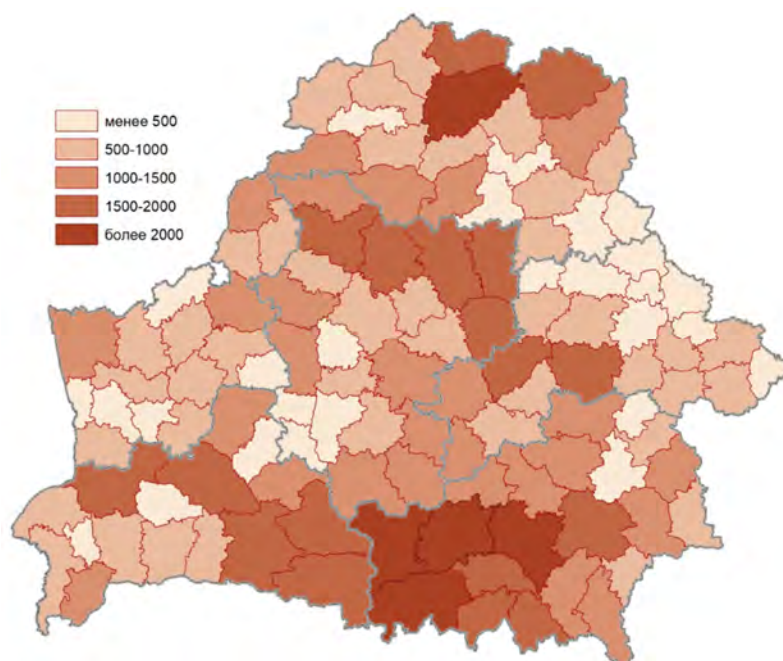


Рис. 6. Биологический запас сырья пищевых растений по административным районам (в тоннах)

Fig. 6. Biological resources of raw materials of food plant species by administrative districts (in tons)

Таблица 4. Эксплуатационные запасы грибов в Беларуси в 2025 г.

Table 4. Exploited resources of mushrooms in Belarus in 2025

Область	Запас, т
Брестская	4251,6
Витебская	6035,2
Гомельская	4394,6
Гродненская	5366,7
Минская	6902,0
Могилевская	2506,9
Республика Беларусь	29457,0

Так, наибольший эксплуатационный запас грибов (более 400 т) отмечен на территории Ивацевичского (478) и Пинского (548) районов Брестской области; Витебского (441), Городокского (484), Докшицкого (431), Лепельского (529), Полоцкого (696) и Россонского (511) районов Витебской области; Житковичского (771), Калинковичского (531), Лельчицкого (664) и Петриковского (601) районов Гомельской области; Гродненского (703), Дятловского (412), Ивьевского (460), Лидского (432), Новогрудского (420), Слонимского (475) и Сморгонского (422) районов Гродненской области; Березинского (545), Борисовского (705), Вилейского (472), Воложинского (653), Логойского (416), Любанского (424) и Столбцовского (439) районов Минской области; Осиповичского (566) района Могилевской области (рис. 7).

Наименьший эксплуатационный запас данного вида сырья (менее 200 т на административный район) выявлен в следующих районах: Березовский (135), Брестский (169), Жабинковский (63) и Каменецкий (75) районы Брестской области; Бешенковичский (133), Дубровенский (52), Оршанский (63), Сенненский (166), Толочинский (112) и Шарковщинский (91) районы Витебской области; Буда-Кошелевский (60), Добрушский (91), Ельский (65), Лоевский (70), Мозырский (134) и Рогачевский (124) районы Гомельской области; Берестовицкий (67), Зельвенский (150), Кореличский (146) и Свислочский (181) районы Гродненской области; Клецкий (83), Копыльский (99), Молодечненский (154), Мядельский (11), Несвижский (36) и Узденский (181) районы Минской области; Бобруйский (194), Быховский (95), Горецкий (42), Дрибинский (16), Кировский (173), Климовичский (97), Костюковичский (128), Кричевский (2), Круглянский (100), Могилевский (51), Мстиславский (29), Хотимский (60), Чаусский (43) и Шкловский (25) районы Могилевской области (см. рис. 7).

При расчетах эксплуатационных запасов грибов исключены регионы, подвергшиеся радиационному загрязнению – Брагинский, Ветковский, Кормянский, Наровлянский, Хойникский и Чечерский районы Гомельской области; Краснопольский, Славгородский и Чериковский районах Могилевской области. На их территории запрещен сбор грибов (см. рис. 7).

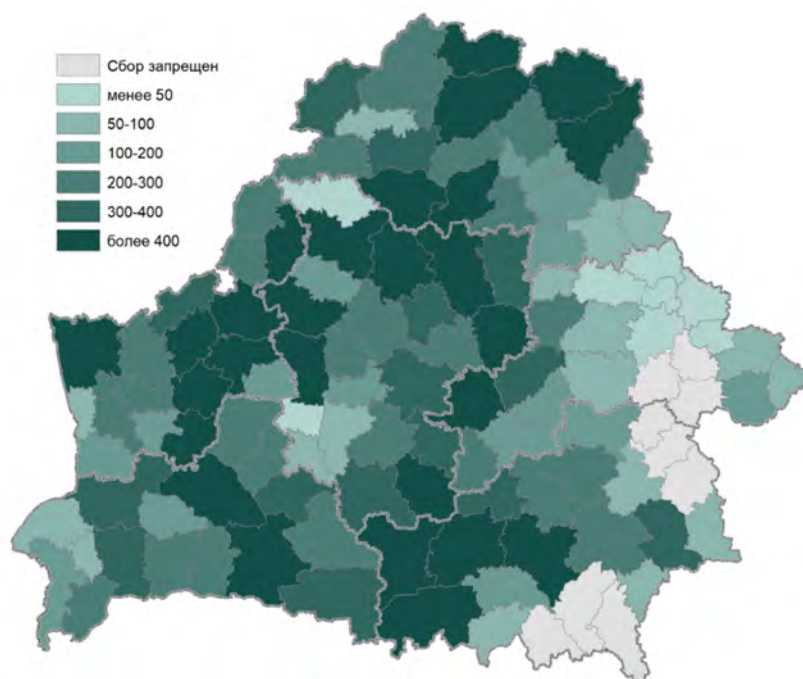


Рис. 7. Эксплуатационный запас грибов по административным районам (в тоннах)

Fig. 7. Exploited resources of raw materials of mushrooms by administrative districts (in tons)

Анализ полученных результатов показал, что в стране имеется высокий ресурсный потенциал дикорастущих хозяйственно полезных растений и грибов – более 1 млн. т. При этом следует отметить, что за последние 20 лет средний объем заготовок и закупок сырья дикорастущих хозяйственно полезных растений составляет всего в среднем 8% от возможных ежегодных объемов заготовок их сырья [20–24]. В этом отношении имеется значительный потенциал для увеличения производства продукции на основе растительного сырья, расширения ассортимента конкурентоспособной продукции растительного происхождения, повышения экспорта и сокращение импорта растительного сырья.

Также проведена оценка экономической целесообразности использования ресурсов сырья дикорастущих хозяйственно полезных растений по разработанному с нашим участием методическим рекомендациям [14]. По предварительным экспертным расчетам стоимостная оценка запасов их сырья составляет более 4,3 млрд. белорусских рублей.

Сравнительный анализ биологических запасов сырья хозяйственно полезных растений и грибов на территории Республики Беларусь позволил выделить 31 вид, сырье которых целесообразно вовлекать в хозяйственный оборот (табл. 5).

Следует учитывать, что некоторые ценные виды растений природной флоры трудно поддаются культивированию и переход к их плантационному выращиванию все еще проблематичен.

В связи с этим за счет заготовки дикорастущих хозяйственно полезных растений можно увеличить объем выпускаемой продукции на основе растительного сырья.

В результате глубокого анализа биологических, экологических и хозяйственно полезных свойств широкого круга дикорастущих растений нами выделены направления их использования в медицинских, пищевых, хозяйственных и прочих целях:

1 – Использование растений в медицине (настойки, таблетки, мази, крема, гели, иммуномодулирующие средства, различные растительные сборы и готовое лекарственное сырье по отдельным видам, сиропы, различные БАДы и др.).

2 – Применение в ветеринарии (различные ветеринарные препараты растительного происхождения – мази, крема, гели, настойки, витамины, микроэлементы и кормовые добавки, дезинфицирующие средства).

3 – Использование растений в качестве пряно-ароматического сырья, в т.ч. как пряно вкусовые (пряности) и эфиромасличные.

4 – Применение в пищу (свежие, сухие и консервированные плоды, ягоды, грибы, овощи, а также орехи, при изготовлении салатов и различных блюд) и в качестве медоносов.

5 – Использование для приготовления различных напитков (бальзамы, напитки безалкогольные, соки, сиропы, кисели, фиточаи и др.).

6 – Использование растений в качестве технического сырья (как красильное, эфиромасличное,

дубильное, смолоносное, волокнистое) и в строительстве.

7 – Применение растений в производстве косметических средств (крема, мази, шампуни и др.), фитосборов для бани и ванн, в ароматерапии.

8 – Использование растений в декоративных целях.

9 – Применение растений в качестве кормового сырья.

Рациональное увеличение объемов заготовок сырья хозяйственно полезных видов растений и грибов природной флоры Беларуси для использования их по выделенным направлениям, а также углубленная технологическая переработка ресурсов и расширение ассортимента выпускаемой продукции на основе растительного сырья позволят существенно увеличить доходы от ее реализации, повысить рентабельность производств и расширить направления наукоемкого экспорта.

Таблица 5. Виды хозяйственно полезных растений и грибов с наибольшим ресурсным потенциалом в Беларуси

Table 5. The species of useful plants and mushrooms with the greatest resource potential in Belarus

Вид		Биологический запас, т
Лекарственные растения		
1	<i>Acorus calamus</i> L. – Аир обыкновенный	2071,7
2	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn. – Ольха черная	7309,4
3	<i>Betula pendula</i> Roth – Береза повислая	124749,7
4	<i>Betula pubescens</i> Ehrh. – Береза пушистая	79777,0
5	<i>Comarum palustre</i> L. – Сабельник болотный	1255,0
6	<i>Convallaria majalis</i> L. – Ландыш майский	6224,5
7	<i>Equisetum arvense</i> L. – Хвощ полевой	5107,7
8	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim. – Таволга вязолистная	14141,8
9	<i>Fragaria vesca</i> L. – Земляника лесная	3463,8
10	<i>Frangula alnus</i> Mill. – Крушина ломкая	76917,8
11	<i>Juniperus communis</i> L. – Можжевельник обыкновенный	1299,8
12	<i>Rhododendron tomentosum</i> Harms – Рододендрон войлочный	6920,4
13	<i>Menyanthes trifoliata</i> L. – Вахта трехлистная	4603,4
14	<i>Pinus sylvestris</i> L. – Сосна обыкновенная	370867,5
15	<i>Quercus robur</i> L. – Дуб черешчатый	23234,1
16	<i>Rubus idaeus</i> L. – Малина	11766,8
17	<i>Sorbus aucuparia</i> L. – Рябина обыкновенная	15234,5
18	<i>Urtica dioica</i> L. – Крапива двудомная	3849,6
19	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. – Черника обыкновенная	46927,0
20	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L. – Брусника	22803,2
Пищевые растения и грибы		
1	<i>Armillariella mellea</i> (Fr.) Karst. – Опенкок осенний	4287,5*
2	<i>Boletus edulis</i> Bull. – Белый гриб	3538,2*
3	<i>Cantharellus cibarius</i> Fr. – Лисичка настоящая	11647,3*
4	<i>Leccinum aurantiacum</i> Fr.: S. F. Gray – Подосиновик	3078,0*
5	<i>Leccinum scabrum</i> Fr.: S. F. Gray – Подберезовик	6660,0*
6	<i>Vaccinium oxycoccos</i> L. – Клюква болотная	1857,7
7	<i>Rubus idaeus</i> L. – Малина	3863,4
8	<i>Sorbus aucuparia</i> L. – Рябина обыкновенная	15234,5
9	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. – Черника обыкновенная	75083,1
10	<i>Vaccinium uliginosum</i> L. – Голубика	2277,9
11	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L. – Брусника	11344,0
Примечание: * для грибов приведен эксплуатационный запас. Для ягод и грибов приведены запасы сырого сырья, а для видов растений, у которых заготавливают побеги, листья, почки, цветки, корневища, кору и т.п. – запасы воздушно-сухого сырья.		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время одним из приоритетных курсов государственной политики в экологической сфере является обеспечение устойчивого ис-

пользования биологического разнообразия Беларуси. Важным направлением в реализации мер по устойчивому использованию растительных

ресурсов является оценка и прогноз состояния, запасов растительного сырья на территории административных районов и страны в целом. В связи с этим проанализировано разностороннее использование видов хозяйственно полезных растений в стране, обобщена информация по классификации и истории изучения растительных ресурсов, определены запасы и возможные объемы ежегодной заготовки сырья видов дикорастущих хозяйственно полезных растений и грибов на территории всех административных районов и по областям. Биологический запас 82 видов лекарственных растений составляет более 832 тыс. т, эксплуатационный – более 385 тыс. т., а возможные объемы ежегодной заготовки их сырья – более 146 тыс. т. Биологический запас 25 видов пищевых растений составляет более 111 тыс. т, эксплуатационный – более 51 тыс. т., а возможные объемы ежегодной заготовки их сырья – более 36 тыс. т. эксплуатационный запас грибов в стране составляет более

29 тыс. т. В результате сравнительного анализа биологических запасов сырья дикорастущих хозяйственно полезных растений и грибов на территории Республики Беларусь выделен 31 вид, сырье которых целесообразно вовлекать в хозяйственный оборот.

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость, поскольку количественные и качественные параметры ресурсного потенциала четко привязаны к конкретным административно-территориальным единицам. Это позволяет непосредственно использовать полученные данные заготовительными организациями и промышленными предприятиями на районном уровне. Сведения о современном состоянии запасов дикорастущих хозяйственно полезных растений необходимы для принятия оперативных управленческих решений в области сохранения, охраны, воспроизводства и устойчивого (неистощительного) использования ресурсов растительного мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генетические ресурсы растений в Беларуси: мобилизация, сохранение, изучение и использование / НПЦ НАН Беларуси по земледелию ; редкол.: Ф. И. Привалов (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : Четыре четверти, 2019. – 452 с.
2. Cook, F. E. M. Economic botany data collection standard: prepared for the International Working Group on Taxonomic Databases for Plant Sciences (TDWG) / F. E. M. Cook. – Kew : Royal Botanic Gardens, 1995. – 146 p.
3. Гигевич, Г. С. Высшие водные растения Беларуси: эколого-биологическая характеристика, использование и охрана / Г. С. Гигевич, Б. П. Власов, Г. В. Вынаев ; под общ. ред. Г. С. Гигевич. – Мн. : БГУ, 2001. – 231 с.
4. Яковлева, И. М. Оценка ресурсной значимости некоторых хозяйственно-полезных растений флоры Беларуси / И. М. Яковлева, С. А. Дмитриева, Т. О. Давидчик // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2008. – Вып. 36. – С. 75–88.
5. Лекарственные растения и их применение / Д. К. Гесь, Н. В. Горбач, Г. Н. Кадаев [и др.] ; под ред. И. Д. Юркевича, И. Д. Мишенина ; Ин-т эксперим. ботаники АН БССР. – 5-е изд., перераб. и доп. – Мн. : Наука и техника, 1974. – 591 с.
6. Государственная фармакопея Республики Беларусь. Т. 2. Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья / М-во здравоохран. Респ. Беларусь, УП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении» ; под общ. ред. С. И. Марченко. – Молодечно : Типография «Победа», 2016. – 1368 с.
7. Минько, Л. И. Народная медицина Белоруссии: краткий исторический очерк / Л. И. Минько // Весці Акадэміі навук БССР. Серыя грамадскіх навук. – 1969. – № 4. – С. 101–107.
8. Лекарственные растения : дикорастущие / Д. К. Гесь, Н. В. Козловская, С. С. Ляхович, И. Ф. Мазан ; под ред. А. Ф. Гаммерман, И. Д. Юркевича ; Акад. наук БССР, Ин-т эксперим. ботаники. – 3-е изд. – Мн. : Наука и техника, 1967. – 387 с.
9. Гродненская медицинская академия : библиографический указатель литературы, 1780–2005 / М-во здравоохран. Респ. Беларусь, Гродн. гос. мед. ун-т ; [сост.: Ф. И. Игнатович, Т. Б. Журавлева]. – Гродно : ГрГМУ, 2007. – 23 с. [2]
10. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О. М. Масловский, А. В. Левкович, И. П. Сысой [и др.] ; науч. ред. А. В. Пугачевский ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2019. – 599 с. : ил., табл., карты.
11. Мاستибротская, И. П. Методические подходы к региональной кадастровой оценке запасов сырья хозяйственно-полезных растений / И. П. Мастибротская, О. М. Масловский, П. А. Родионов // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / Ин-т леса Нац. акад. наук Беларуси. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2010. – Вып. 70. – С. 76–88.
12. Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Порядок проведения планового обследования территории Республики Беларусь для кадастрового учета объектов растительного мира : ТКП 17.12-09-2015 (33140). – Введ. 01.09.2015. – Мн. : Минприроды : БелНИЦ «Экология», 2015. – 32 с.
13. Ботаническое ресурсоведение: классификация и оценка запасов полезных растений : учеб.-метод. пособие / сост.: А. А. Егоров, О. В. Созинов, Г. Н. Бузук, Д. Г. Груммо. – СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2023. – 100 с.

14. К вопросу о методике комплексной экономической оценки растительных ресурсов Беларуси как элемента Национального богатства / А. В. Неверов, И. П. Сысой, О. М. Масловский [и др.] // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2022. – Вып. 51. – С. 95–102.
15. О таксах для определения размера возмещения вреда, причиненного окружающей среде, и порядке его исчисления : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 11 апр. 2022 г., № 219 // Национальную правовую Интернет-портал Республики Беларусь. – 2022. – 5/50127.
16. Порядок проведения работ по стоимостной оценке экосистемных услуг и определения стоимостной ценности биологического разнообразия : ТКП 17.02-10-2013 (02120). – Мн. : Минприроды : БелНИЦ «Экология», 2013. – 23 с. – Введ. 01.06.2013.
17. Лекарственные растения: разнообразие жизненных форм : учеб. пособие / Л. А. Жукова, М. Г. Кондратьева, П. В. Фролов, Т. А. Полянская ; М-во образования и науки РФ, Мар. гос. ун-т, Ин-т медицины и естеств. наук. – Йошкар-Ола : СТРИНГ, 2015. – 168 с.
18. Определитель высших растений Беларуси : учеб. пособие / Т. А. Сауткина, Д. И. Третьяков, Г. И. Зубкевич [и др.] ; под ред. В. И. Парфенова ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Дизайн ПРО, 1999. – 471 с.
19. Цвелев, Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области) / Н. Н. Цвелев ; Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова РАН. – СПб. : Изд-во СПХФА, 2000. – 781 с.
20. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл., 2004 г. / Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси, М-во природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь ; под общ. ред. В. Ф. Логина. – Мн. : Минсктиппроект, 2005. – 284 с.
21. Состояние природной среды Беларуси: ежегодное информационно-аналитическое издание / В. М. Бурак, Г. И. Глазачева, Т. И. Курлович [и др.] ; под общ. ред. М. А. Ересько ; БелНИЦ «Экология». – Мн. : РУП «Бел НИЦ «Экология», 2019. – 109 с.
22. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, С. А. Дубенок, С. В. Сушко [и др.] ; под общ. ред. С. А. Дубенок ; Центр. науч.-исслед. ин-т комплекс. использования вод. ресурсов. – Мн. : РУП «ЦНИИКИВР», 2021. – 150 с.
23. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Громадской ; Центр. науч.-исслед. ин-т комплекс. использования вод. ресурсов. – Мн. : РУП «ЦНИИКИВР», 2023. – 151 с.
24. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Е. И. Громадская, Д. В. Цубленок, М. В. Водейко [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Громадской ; Центр. науч.-исслед. ин-т комплекс. использования вод. ресурсов. – Мн. : РУП «ЦНИИКИВР», 2024. – 196 с.

Поступила в редакцию 24.05.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сысой Ирина Петровна – кандидат биологических наук, заместитель директора по научной и инновационной работе Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Масловский Олег Мечеславович – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией ресурсов и кадастра растительного мира Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Амбросова Алина Петровна – младший научный сотрудник лаборатории ресурсов и кадастра растительного мира Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Сысой, И. П. Состояние и проблемы использования растительных ресурсов в Беларуси / И. П. Сысой, О. М. Масловский, А. П. Амбросова // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 128–144.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНВАЗИИ BIOLOGICAL INVASIONS

УДК 582(476)

О. М. МАСЛОВСКИЙ, В. М. ЛАПИЦКИЙ, И. П. СЫСОЙ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКСПАНСИИ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В БЕЛАРУСИ И ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: kadastr@botany.by*

Аннотация. В статье рассмотрены исторические, правовые, методические вопросы ограничения распространения инвазивных видов растений в Беларуси, основные источники и направления их экспансии и угрозы проникновения их в природные экосистемы, приведены карты их распространения, оценена динамика и дан прогноз развития в ближайшие годы.

Ключевые слова: инвазивные виды растений, Беларусь, экспансия, угрозы, защитные и городские зеленые насаждения, состояние, динамика, прогноз развития.

O. M. MASLOVSKY, V. M. LAPITSKY, I. P. SYSOI

MAIN DIRECTIONS OF INVASIVE PLANT SPECIES EXPANSION IN BELARUS AND FORECAST OF THEIR DISTRIBUTION

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: kadastr@botany.by*

Abstract. This article presents the historical, legal, and methodological issues in controlling the spread of invasive plant species in Belarus, the main sources and directions of their expansion and the threats they pose to natural ecosystems, maps and their dynamics and prognosis of its distribution in future.

Keywords: invasive plant species, Belarus, expansion, threats, protective and urban green spaces, status, dynamics.

ВВЕДЕНИЕ

Распространение чужеродных (инвазивных) видов признано главной угрозой аборигенным растениям, местообитаниям и экосистемам, а вслед за ними – производству продуктов питания и здоровью людей. Биологические инвазии становятся основными двигателями экологической дезинтеграции из-за все увеличивающегося распространения чужеродных видов. Эти виды представляют угрозу для биоразнообразия и ставят под угрозу продовольственную безопасность, здоровье и экономическое развитие. Прямые и косвенные последствия для здоровья становятся все более серьезными, а ущерб природе часто необратим.

Международная группа экологов и экономистов ООН провела комплексное исследование экономических последствий распространения ключевых инвазивных видов растений и животных на планете. Результаты показали, что за последние 60 лет инвазивная флора нанесла экономике мира ущерб более чем 926 млрд долларов. Общий экономический ущерб от инвазивных видов за этот период значительно недооценен – более чем в 17 раз. По оценкам Люнга и его коллег [1], он превышает 2,14 трлн. долларов, причем основная часть потерь (45%) связана с инвазивными растениями. Наибольшие потери от инвазивных видов зафиксированы в Европе (1,5 трлн. долларов, 71%).

Подсчитано, что в результате инвазии заносных видов США теряют 137 млрд долларов, Индия – 117 млрд долларов, а Бразилия – 50 млрд долларов [2]. Урон, наносимый биологическими инвазиями только со стороны 79 наиболее злостных инвазивных видов, в США оценивается в 97 млрд долларов [3]. Для России ущерб составляет не менее 51,52 млрд долларов [4].

Экономический ущерб от биологических инвазий для Беларуси пока не посчитан, но по экспертным оценкам может составлять не менее 500 млн долларов и, вероятно, к 2035 г. достигнет 1,3 млрд долларов.

В докладе IPBES 2019 г. [5] сумма ущерба мировой экономике оценен в 423 млрд долларов. Отмечено, что инвазивные виды являются причиной резкого снижения численности или исчезновения 60% видов (на островах – до 90%), на растения приходится 15,4% от этого количества. Прогнозируется, что сумма ущерба будет возрастать в геометрической прогрессии: в 4 раза каждое десятилетие (рис. 1). К 2030 г. ожидается повышение суммы до 1,7 трлн. долларов. Подсчет ущерба белорусской экономике по состоянию на 2026 г. не проводился, методика его расчета отсутствует.

Экономический ущерб обусловлен различными причинами: снижением продуктивности сельскохозяйственных культур и общим повышением дороговизны сельскохозяйственной деятельности, высокими затратами на борьбу с экспансией фитоинвазий, повышением стоимости природоохранных мероприятий, деградацией экосистем водоемов и водотоков, необходимостью проведения научных исследований, посвященных проблеме распространения инвазий, повышением нагрузки на систему здравоохранения и т. д.

Причем наблюдается устойчивый тренд на увеличение количества вселившихся видов от прошлого к настоящему (рис. 2.) [6].

Подсчитано, что инвазивные виды наносят максимальный ущерб экологии и экономике не сразу, а примерно через 46 лет после их появления на новых территориях [1].

Признание общественностью и организациями различного ранга значимости проблемы, связанной с проникновением чужеродных видов растений и животных на новые территории и их влияния на экосистемы, привело к тому, что в последнее время этой проблеме уделяется больше внимания.

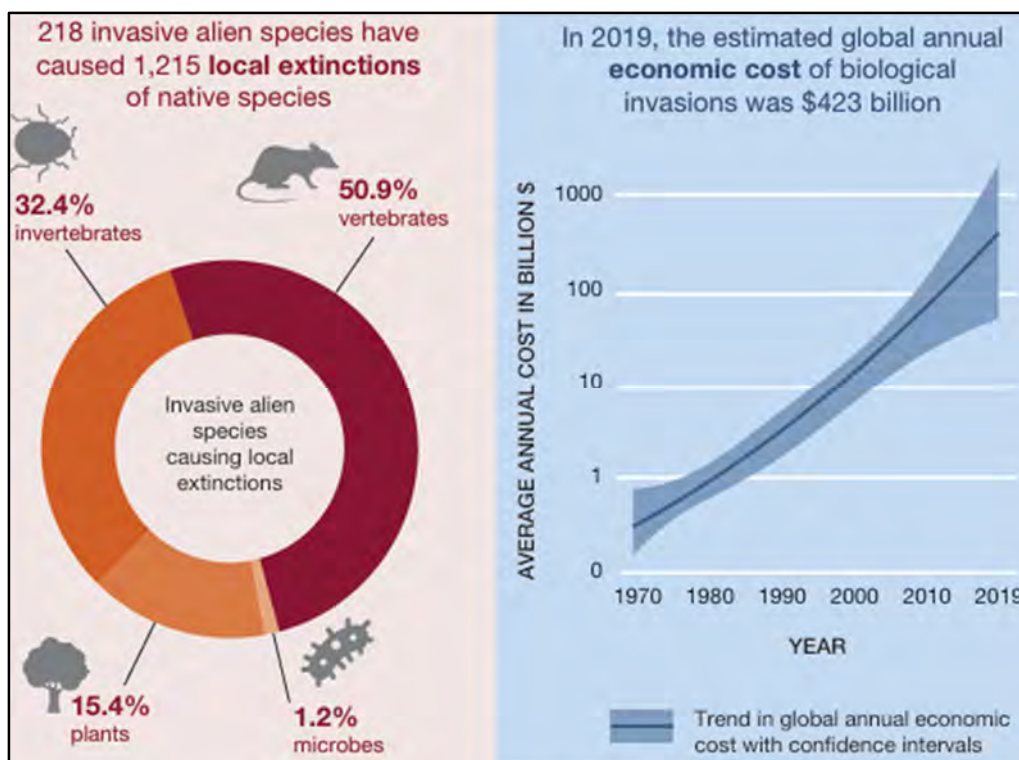


Рис. 1. Роль инвазивных чужеродных видов в глобальном исчезновении аборигенных видов (слева) и динамика суммы ущерба мировой экономике от биологических инвазий, млрд долл. США (справа) [5, с. 25]

Fig. 1. The role of invasive alien species in the global extinction of native species (left) and the dynamics of the amount of damage to the global economy from biological invasions, billion US dollars (right) [5, p. 25]

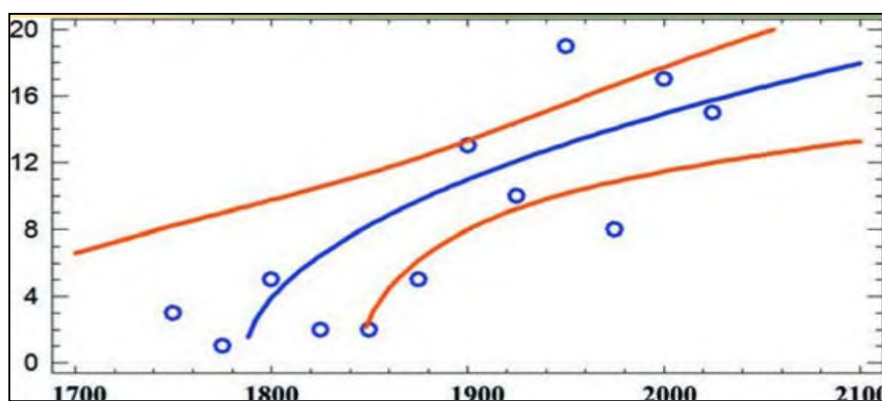


Рис. 2. Динамика количества случаев первых инвазий организмов из списка ТОП-100 в экосистемы России, начиная с 1700 г. и прогноз до 2100 г.

кружки – количество видов, вселившихся за 25-летний период; синяя линия – нелинейный тренд типа $Y = \text{SQRT}(a + b * \text{SQRT}(\text{годы}))$; коричневые линии – 95% доверительный интервал линии тренда [6]

Fig. 2. Dynamics of the number of cases of first invasions of organisms from the TOP-100 list into the ecosystems of Russia, starting from 1700 and prognosis to 2100

circles – the number of species that invaded over a 25-year period; blue line – nonlinear trend of the type $Y = \text{SQRT}(a + b * \text{SQRT}(\text{years}))$; brown lines – 95% confidence intervals of the trend line [6]

Международные соглашения и программы, направленные на решение этой проблемы, опираются на статью «8h» Конвенции о биологическом разнообразии (1995) [7], согласно которой: «Каждая Сторона Конвенции должна, насколько возможно и целесообразно, предотвращать интродукцию, осуществлять контроль и уничтожать те чужеродные виды, которые угрожают экосистемам, местообитаниям или видам». Конференцией сторон данной конвенции в 2002 г. в Гааге принято Решение VI/23 «Чужеродные виды, которые угрожают экосистемам, местам обитания или видам».

В Резолюции VIII.18 «Инвазивные виды и водно-болотные угодья» (ноябрь 2002 г.) «Конвенции о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местообитаний водоплавающих птиц» определены мероприятия по инвазивным видам совместно с активностью в рамках Конвенции о биологическом разнообразии.

В Бернской конвенции Статья 11(2)(b) гласит: «Каждая Договаривающаяся Сторона обязуется строго контролировать введение неместных видов», а также принят ряд документов по предотвращению инвазий [8].

Директива Совета ЕС 92/43/ЕЭС об охране природных мест обитания, а также дикой фауны и флоры включает Статью 22: «При осуществлении положений настоящей Директивы Государства – члены: обеспечивают контроль за преднамеренной интродукцией в дикую природу любых видов, которые не встречаются на их территории, таким образом, чтобы не причинялся ущерб природным местам обитания в пределах их естественного аре-

ала или дикой фауне и флоре государства и, если Государства-члены посчитают таковое целесообразным, запрещают интродукцию».

Международная конвенция по карантину и защите растений (Рим, 1951 г.) обеспечивает основу для международного сотрудничества с целью предотвращения интродукции вредных организмов растений и растительной продукции и продвижения соответствующих мер их регулирования. В ней рассматриваются вопросы распространения вредных организмов между странами и фитосанитарных мер внутри стран.

Соответствующие документы по инвазивным видам приняты в рамках региональных соглашений: Конвенции стран Бенилюкс об охране природы и ландшафта (Брюссель, 1982 г.); Протоколе по осуществлению Альпийской конвенции об охране природы и ландшафта (Шамбери, 1994 г.); Протоколе об особо охраняемых природных территориях и биологическом разнообразии в Средиземноморском регионе (Барселона, 1995 г.); Регламенте Совета 338/97/ЕС о защите видов дикой флоры и фауны путем регулирования торговли ими; Директиве Совета ЕС 2000/29/ЕС от 8 мая 2000 г. о мерах защиты от интродукции на территорию Сообщества вредных организмов, наносящих вред растениям или растительной продукции, и их распространения в пределах Сообщества.

В Глобальной стратегии сохранения растений целевая задача 10 связана с внедрением эффективных планов управления для предотвращения новых биологических инвазий и управления районами, важными с точки зрения разнообразия растений, которые подвергаются инвазиям [9]

В Европейской стратегии сохранения растений одна из 5 главных целей связана с борьбой с инвазийными видами [10, 11].

В рамках Конвенции об охране дикой фауны, флоры и природных сред обитания в Европе Советом Европы принята Европейская стратегия по инвазивным чужеродным видам [12].

В «Национальной стратегии по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия Республики Беларусь» инвазивные виды растений и животных названы в качестве одной из основных угроз биоразнообразию страны [13].

Статья 26 Закона РБ «О растительном мире» (2003 г.) посвящена вопросам регулирования распространения и численности дикорастущих растений отдельных видов.

Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 26 ноября 2008 г. №106 установлен перечень дикорастущих растений, запрещенных к интродукции и (или) акклиматизации.

С 2001 г. в Беларуси создается Государственный кадастр растительного мира, одна из кадастровых книг которого посвящена инвазивным видам. В книге содержится информация о численности, распространении, состоянии, степени угрозы данных видов по каждому землепользователю и административному району республики.

В рамках Национальной системы мониторинга разработаны программа, методика и начато развертывание постоянных пунктов наблюдения за инвазивными видами. К настоящему времени функционируют 136 пунктов мониторинга 20 видов инвазивных растений.

Значительным шагом по реализации мер борьбы с вредоносными организмами стало принятие в 2008 г. Советом Министров Республики Беларусь «Плана действий по предотвращению и

минимизации ущерба от распространения вредоносного чужеродного вида растений – борщевика Сосновского», а также постановления Совета Министров Республики Беларусь и Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды «О некоторых вопросах регулирования распространения и численности дикорастущих растений отдельных видов». В них установлен и периодически обновляется перечень наиболее опасных видов растений. В настоящее время в него включены: *Acer negundo* L. (клен ясенелистный), *Ambrosia artemisiifolia* L. (амброзия полыннолистная), *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray (эхиноцистис лопастной), *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier (борщевик Мантегацци), *Heracleum sosnowskyi* Manden. (борщевик Сосновского), *Quercus rubra* L. (дуб красный), *Robinia pseudoacacia* L. (робиния лжеакация), *Solidago canadensis* L. (золотарник канадский), *Solidago gigantea* Ait. (золотарник гигантский).

Разработаны и утверждены «Правила о порядке проведения мероприятий по регулированию распространения и численности видов дикорастущих растений, которые оказывают вредное воздействие и (или) представляющие угрозу биологическому разнообразию, жизни и здоровью граждан», «Методические рекомендации и типовые планы мероприятий и мер борьбы с борщевиком Сосновского».

В 2008 г. вышла в свет первая книга, посвященная гигантским борщевикам [14]. Позже в стране была заложена система пунктов постоянных наблюдений и организован регулярный мониторинг популяций этих видов [15]. В 2019 г. опубликовано фундаментальное издание Государственного кадастра растительного мира, где большой раздел посвящен инвазивным видам растений [16]. В 2020 г. издана Черная книга флоры Беларуси [17].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время основой для проведения работ являются следующие нормативные документы «Стратегия и план действий по борьбе с борщевиком Сосновского и другими наиболее опасными инвазивными видами растений на территории Республики Беларусь на 2018–2025 гг.»

[18] и ТКП 17.05-03-2020 (33140) «Требования к проведению работ по ограничению распространения и численности инвазивных растений (борщевика Сосновского, золотарника канадского, эхиноцистиса лопастного и других инвазивных растений) различными методами» [19].

Классификация инвазивных видов и их положение в системе флор

Флора определенной территории формируется как естественным путем, так и под воздействием человека. В этой связи по принципу генезиса флору можно разделить на аборигенный (природный) и антропогенный компоненты.

Вид аборигенный (абориген, автохтон, вид автохтонный, вид исконный, вид местный, вид ту-

земный) (aboriginal species) – коренной обитатель данной местности, района, страны, сообщества, любой биологической системы. От латинского *aborigines* (ab origine – от начала). Соответствует др.-греч. названию автохтон (*autochthones*) [6].

Противоположность аборигенным – адвентивные виды (чужеродные, пришлые, заносные).

Вид адвентивный (вид-вселенец, вид завезенный, вид занесенный, вид заносный, вселенец, вторженец) (*adventive species, ecdemic, tramp species*) – вид, проникший за пределы своего первичного ареала либо естественным путем (с воздушными потоками, по морю), либо непреднамеренно занесенный человеком (с транспортом, с грузами, непосредственно), либо появившийся в результате интродукции, т. е. это вид, преодолевший географический барьер и обнаруженный за пределами естественного ареала. В русскоязычной ботанической литературе чаще используется термин «адвентивный вид», а в зоологической – «чужеродный».

Антропогенная (адвентивная) флора представлена видами, ранее не характерными для рассматриваемого региона и распространяющимися за пределы своего естественного ареала благодаря деятельности человека. В структурном плане она состоит из гетерогенных по происхождению и гетерохронных по времени проникновения групп видов в составе региональной флоры, которая формируется благодаря трансконтинентальным, транзональным и межзональным несамостоятельным миграциям [20, с. 26]. Транзональная миграция происходит из дальних регионов, а межзональная – из расположенных поблизости регионов, откуда виды растений не могут самостоятельно распространиться в силу наличия физико-географических барьеров.

Эти миграции могут быть случайными или под целенаправленным воздействием человека. Последние являются культивируемыми или интродуцированными. Они могут являться дичающими, одичавшими и, как следствие в той или иной степени проникающими в природные сообщества. Именно такие виды и называются чужеродными, а когда они начинают оказывать заметное воздействие на состав и структуру этих природных сообществ – инвазивными.

Для определения инвазивных видов используются различные термины (неаборигенные, экзотические, иноземные, новые), а также для ряда видов, приносящих ущерб (паразиты, сорняки, вредные, вредители, инвазивные, экологически опасные).

Рабочие определения, используемые Глобальной программой по инвазивным видам (ГПИВ)(ЮНЕП/ КБР/ВОНТТК/6/ИНФ/5/Приложение 2) [21]:

Чужеродный вид (синонимы: ненативный, неаборигенный, иноземный, экзотический) – вид, подвид или низший таксон, внедрённый за пределы его начального или нынешнего распространения; включает любые части, гаметы, семена, яйца, или отростки таких видов, которые могут выжить и самостоятельно воспроизводиться.

Чужеродный инвазивный вид – чужеродный вид, чьё внедрение и распространение угрожает экосистемам, местообитаниям или видам и причиняет экономический или экологический ущерб. Этот вопрос рассматривается в статье 8(h) Конференции о биологическом разнообразии (КБР).

Мы придерживаемся мнения, что более корректнее эти виды называть «инвазивными», что соответствует английскому «*invasive*», а не «инвазионными» (от английского «*invasion*»). Последнее более соответствует таким понятиям как собственно «инвазия», «вызванный инвазией» или «инвазионный процесс». Необходимо учитывать, что в англоязычной литературе по этой проблеме отсутствует понятие «*invasion species*».

Следует понимать, что «чужеродные виды» и «инвазивные виды» не могут использоваться взаимозаменяемо. Многие широко выращиваемые фрукты и овощи не являются коренными для той или иной страны, но тем не менее не наносят ощутимый вред экосистемам.

Хотя предпринимались многочисленные попытки уточнить термин «инвазивный вид», по-прежнему существует неопределенность в отношении использования и воспринимаемого значения этого термина. Некоторые виды являются чужеродными, но не несут вред человеку и экосистемам, а иногда и являются полезными. Это отражает различные системы ценностей, действующие в обществе, и способствует неопределенности в определении термина «инвазивный вид». Различное восприятие относительного вреда, причиняемого или пользы, получаемой от определенного организма, зависит от разных ценностей и целей управления. Если бы инвазивные виды не причиняли вреда, нас это не беспокоило бы столь сильно. Восприятие относительной пользы и вреда также может меняться по мере приобретения новых знаний или изменения человеческих ценностей и целей управления. Чтобы неместный организм считался инвазивным видом негативные последствия, которые он вызывает или может вызывать, должны перевешивать любые положительные эффекты. [22]. Иногда чужеродные виды не наносят ощутимого вреда человеку и экосистемам, однако составляют непосредственную конкуренцию местным видам, что может привести к негативным последствиям.

Следует также учитывать, что тот или иной вид в одной стране (или в части большой площади страны) может считаться инвазивным, а в другой – не рассматривается в этом качестве или, вообще, является нативным.

Анализируя процесс вселения чужеродных видов, рассмотрим процесс натурализации вида на новой территории.

Натурализация (naturalization, establishment) –

1. способность вида приживаться в новых для него природных экосистемах; для натурализовавшихся видов характерно преодоление репродуктивного барьера, такие виды способны размножаться и формировать устойчивые популяции в месте внедрения;

2. процесс внедрения адвентивного вида в природную среду.

В попытке избежать неоднозначной, субъективной и уничижительной лексики, которая так часто сопровождает обсуждение инвазивных ви-

дов даже в научных статьях, Колаутти и МакАйзек предложили новую систему номенклатуры. Основанная на биогеографии, а не на таксонах, [23]. Предлагаемая система делает акцент на экологии выше таксономии, здоровья человека и экономических факторах (табл. 1). Модель оценивала отдельные популяции, а не целые виды. Она классифицировала каждую популяцию на основе её успеха в этой среде. Эта модель одинаково применялась как к коренным, так и к интродуцированным видам и не определяла автоматически успешные интродукции как вредные.

Таблица 1. Номенклатура Колаутти и МакАйзека вселения инвазивных видов

Table 1. R. I. Colautti, H. J. MacIsaac nomenclature of invasive species

Стадия	Характеристика
0	Пропагулы, находящиеся в донорском регионе
I	Мигрирующий
II	Вселяющийся
III	Локализованный и численно редкий
Iva	Широко распространенный, но встречающийся редко
IVb	Локализованный, но доминирующий
V	Распространённый и доминирующий

Для того чтобы растение считалось инвазивным видом, необходимо преодолеть несколько барьеров [22]. Во-первых, необходимо преодолеть географический барьер, который часто представляет собой горный хребет, океан или аналогичное физическое препятствие для распространения семян и других репродуктивных частей растений. Растения, которые преодолевают географические барьеры, известны как чужеродные растения или чужеродные виды. Следовательно, растения не местного происхождения – это те, которые встречаются за пределами их естественного ареала, и это чаще всего происходит при участии человека, либо намеренно, либо случайно.

Вторая группа препятствий, которую должно преодолеть растение не местного происхождения, – это барьеры для прорастания и выживания на новом месте. Обычно это экологические барьеры, такие как достаточная влажность, обеспечивающая успешное прорастание и выживание семян, которые будут продолжать расти до зрелости. Другими физическими барьерами могут быть pH почвы, доступность питательных веществ или конкуренция за ресурсы с соседними растениями.

Третье препятствие, которое ненативному растению необходимо преодолеть, чтобы считаться инвазивным видом, заключается в формировании популяции, которая является самопод-

держивающейся и не требует повторного введения для поддержания основ функционирования популяции, чтобы она продолжала выживать и процветать в новой среде. [22].

Культивируемые растения обычно не имеют склонности к одичанию, поскольку они не выдерживают конкуренции с представителями аборигенной флоры (например, рожь посевная), либо происходят из других зон морозостойкости и в климатических условиях Беларуси погибают (томат, огурец обыкновенный и др.). Однако, согласно правилу Уильямса [23], этот барьер может преодолеть около 10% видов (как и занесенных случайно), в результате чего часть видов дичает и образует диаспоры. При одичании происходит процесс натурализации [24, 25] – внедрение чужеродных растений в растительные сообщества и их активное расселение, связанное с успешным вегетативным и (или) генеративным размножением, адаптации к условиям экотопа.

Если одичавшая диаспора вида в ходе натурализации способна просуществовать на занимаемой территории один, два и более лет, но не может самостоятельно поддерживаться за счет жизнеспособного потомства, то вид является *эфмерофитным*, или временным чужеродным (*casual species*) [26]. Древесные растения, не способные к возобновлению, а также травянистые растения, способные существовать на данной территории только за счет вегетативного возобновления,

называются **эфмероидофитами**. Если же чужеродные растения способны длительное время (для травянистых растений – более 10 лет) удержаться на занимаемой территории за счет воспроизводства новых особей (формирования колонии генеративным путем), то вид называется **колонофитным** и считается успешно натурализовавшимся (*established, naturalized*) [25].

Натурализовавшиеся виды не обязательно внедряются в естественные, полустественные, или созданные деятельностью человека экосистемы. Если же внедрение наблюдается, то вид, согласно данной классификации, уже можно считать инвазивным. Если экспансия происходит только в пределах антропогенно трансформированных местообитаний, то вид называется **эпектофитом** или **аколютофитом** [27, 28, 29]. Различают гемипекофиты (распространяются по одному типу трансформированных местообитаний) и голоэпектофиты (заселяют различные антропогенные местообитания). Чужеродные виды, способные распространяться также и по естественным местообитаниям и оставаться там после окончания воздействия человека, называются **агриофитами** [30].

Иногда чужеродные виды могут скрещиваться с представителями аборигенной флоры, образуя гибриды. Они обычно лучше адаптированы к местным условиям и становятся агрессив-

нее своего «предшественника». Такие гибриды также считаются чужеродными [26].

Наибольшую угрозу представляют т. н. **«ви-ды-трансформеры»** – инвазивные виды, которые изменяют характер, состояние, облик и сущность экосистем на значительной площади [24].

В Черной книге флоры Беларуси [17] по степени натурализации принята следующая классификация: эфмерофиты, колонофиты, эпектофиты, агриофиты, причем в саму книгу включены последние, в отношении которых необходимы меры по ограничению распространения, в том числе истребления, и которые относятся к числу инвазивных. Им присвоены индексы от 1 до 3, которые отражают степень выраженности опасности (вредоносности), фактической или потенциальной.

По данным кадастровой книги растений, оказывающих вредное воздействие [16, с. 189–260], на территории Республики Беларусь ведется учет 401 вида инвазивных растений. Все они представляют различный уровень угрозы и классифицируются на шесть групп:

- а) особо опасные (9 видов);
- б) опасные инвазивные (5);
- в) инвазивные (57);
- г) потенциальные инвазивные (42);
- д) заносные (280);
- е) стабильные натурализовавшиеся (8).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка экспансии инвазивных видов растений в Беларуси

Нами проведен анализ экспансии видов растений, включенных в Черную книгу флоры Беларуси [17], как инвазивных, так и адвентивных (потенциально инвазивных), их первичного ареала, так и времени проникновения на территорию Беларуси (рис. 3).

Среди преобладающих видов – выходцы из Северной Америки, их доля увеличивается от 18% среди адвентивных до 31% среди собственно инвазивных. Виды, чей первичный ареал расположен на территории Европы среди инвазивных составляет 18%, однако среди адвентивных их доля достигает 36%. Это объясняется схожестью климатических условий с территорией Беларуси, а в отношении европейских – географической близостью данного региона. Заметную роль играют выходцы из Западной и Средней Азии, чья доля среди адвентивных достигает 21%, что отражает текущие изменения климата и процессы аридизации природных комплексов. Доля видов, чьим первичным ареалом является Кавказ, во всех трех группах одинакова и составляет 7%. Число видов из других регионов минимальна и не превышает 5%. Относительно повышенную долю (до

7%) среди инвазивных видов занимают выходцы с Дальнего Востока и Сибири.

По времени появления (регистрации) на территории Беларуси инвазивных, адвентивных и агриофитов, виды разделены на 7 групп (табл. 2).

Анализ распределения по времени появления на территории Беларуси агриофитов показывает, что значительно количество инвазивных видов (7) зарегистрировано во второй половине XVIII в. В первой половине XIX в. адвентивных и инвазивных видов растений в Беларуси появилось немного. Начиная со второй половины XIX в. последовательно отмечается расширение новых как инвазивных, так и адвентивных видов, достигая максимума к концу XX в. Именно в этот период на территории нашей страны появилось большинство наиболее опасных инвазивных видов, причем их количество постоянно увеличивается. Ситуация с проникновением новых инвазивных видов в XXI в. требует дополнительных исследований.

После появления инвазивных видов на определенную территорию они проходят несколько стадий: вселение, расширение экспансии, стабилизация и колебания численность (рис. 4).

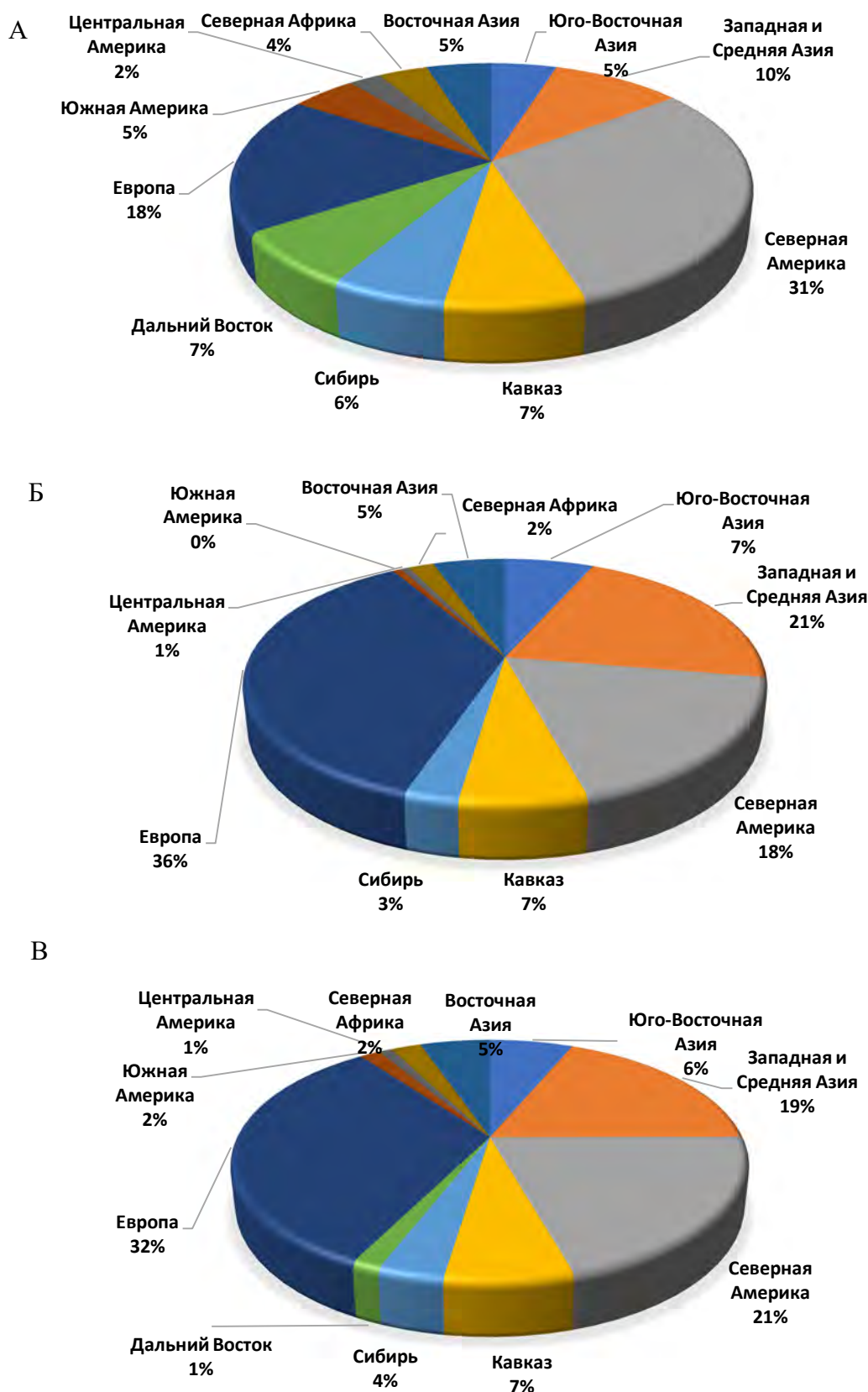


Рис. 3. Первичные ареалы видов растений:
А – инвазивных; Б – адвентивных (потенциально инвазивных); В – агриофитов в целом

Fig. 3. Primary areals of plant species:
А – invasive; Б – adventive (potentially invasive); В – agriophytes in general

Таблица 2. Распределение агриофитов по времени появления (регистрации) на территории Беларуси

Table 2. Distribution of agriophytes by time of appearance (registration) in the territory of Belarus

Время появления	адвентивные	инвазивные	всего
XXI в.	4	2	6
2-я половина XX в.	47	19	66
1-я половина XX в.	34	10	44
2-я половина XIX в.	44	7	51
1-я половина XIX в.	22	3	25
2-я половина XVIII в.	32	7	39
до 1770 г.	91	1	92

При этом у большинства видов отмечается нелинейный характер расширения экспансии, разная векторность и разная скорость динамики как отдельных популяций, так и целых региональных фрагментов вторичного ареала.

Рост популяции вселенца может периодически падать ниже пороговых значений размера популяции, что приводит к множественным временным задержкам инвазий [по 32] (рис. 5).

Проведенные исследования выявили нелинейный характер их экспансии на территории Беларуси: не только рост, но и постоянные колебания численности, а также иногда значительные сокращения у большинства инвазивных видов,

вызванные как природными факторами, так и внутренними закономерностями существования вида в регионе, а также в отношении наиболее опасных и мероприятиями по ограничению их распространения. При этом наблюдается как адаптация вида к местным условиям, так определенные микроэволюционные изменения региональных популяций.

Таким образом, процесс экспансии носит сложный и нелинейный характер, имеет свои закономерности, понимание которых может существенно повысить эффективность проводимых мероприятий по ограничению их распространения и влиянию на природные комплексы.



Рис. 4. Стадии экспансии инвазивных видов

Fig. 4. Stages of expansion of invasive species

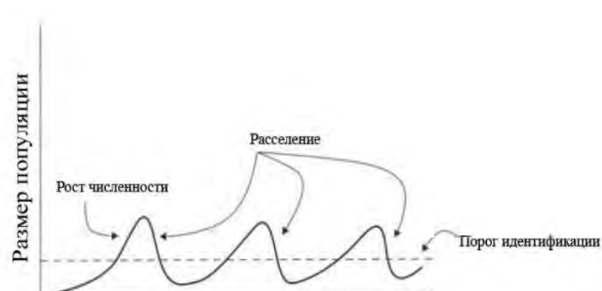


Рис. 5. Колебания численности инвазивных видов [по 32]

Fig. 5. Fluctuations in the abundance of invasive species [by 32]

Характеристика и направления экспансии опасных инвазивных видов на территории Беларуси

Гигантские борщевики

Гигантские борщевики на территории Беларуси представлены комплексом растений *Heracleum sosnowskyi* Manden. и *H. mantegazzianum* Sommier & Levier. Наиболее широко распространен борщевик Сосновского, который широко использовали в середине XX в. в качестве кормовой культуры.

На территории Беларуси в настоящее время зарегистрировано более 6000 мест произрастания гигантских борщевиков общей площадью свыше 4293 га. Распространены эти борщевики

по территории страны довольно неравномерно. Наибольшее распространение они получили в Витебской области, где зарегистрировано свыше 3200 мест его произрастания (более 53% от их общего количества в стране) (рис. 6). В центральной Беларуси отмечено более чем 1,8 тыс. мест произрастания гигантских борщевиков. В Брестской и Гомельской областях борщевик встречается значительно реже, и значительного изменения численности его популяций в последние годы не наблюдается (рис. 7).

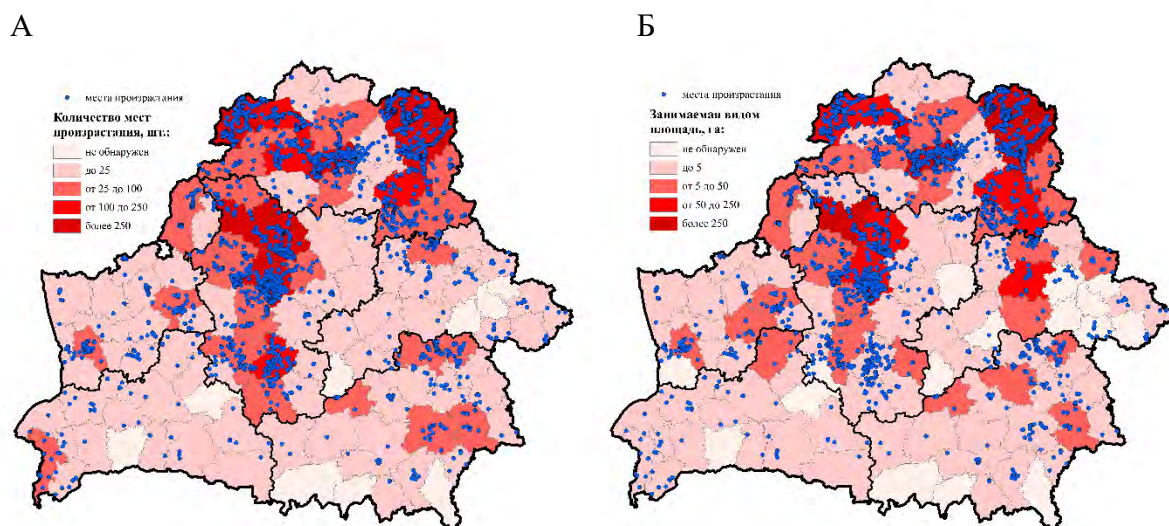


Рис. 6. Распространение гигантских борщевиков в Беларуси:
А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 6. Distribution of giant *Heracleum* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

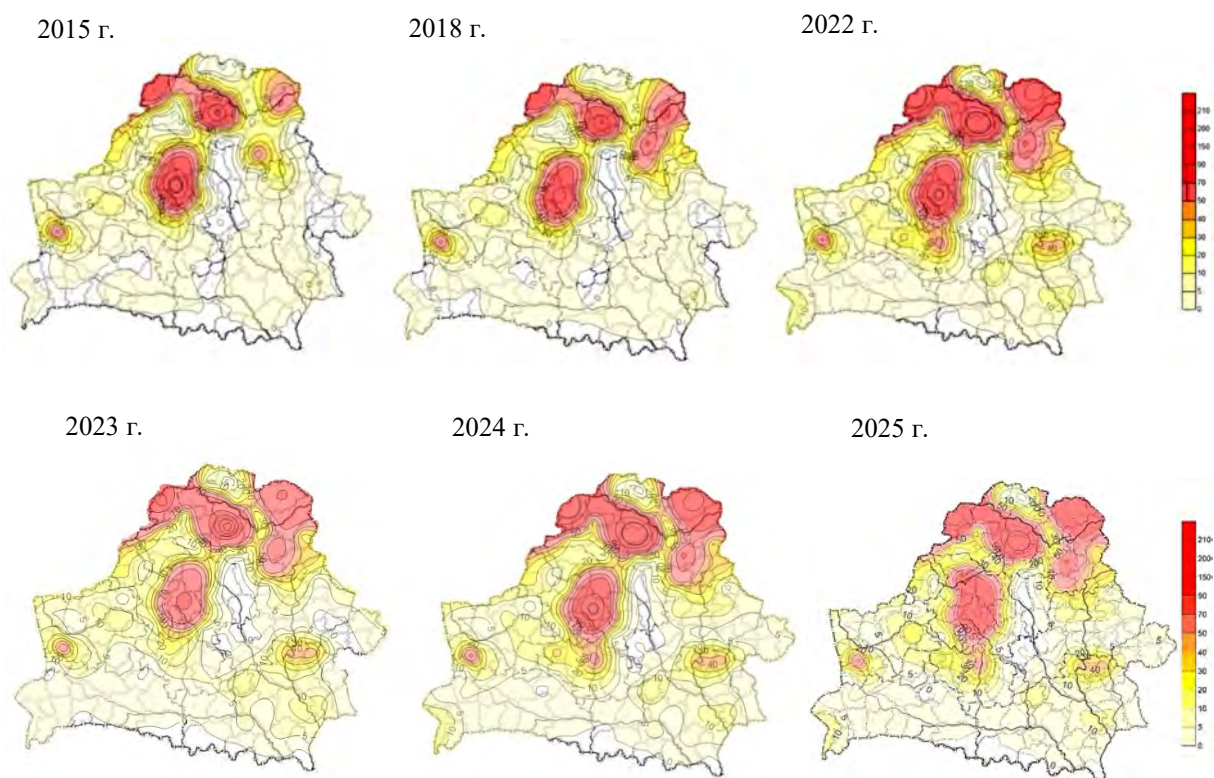


Рис. 7. Динамика плотности распределения гигантских борщевиков на территории Беларуси по числу выявленных мест произрастания (шт./100 тыс. га) в период 2015–2025 гг.

Fig. 7. Dynamics of the distribution density of giant *Heracleum* in Belarus by the number of identified growing sites (pcs./100 thousand hectares) in the period 2015–2025

В процессе экспансии к 2015 г. сформировались несколько центров распространения этого вида в Беларуси, шесть из которых сосредоточены на севере страны и приходятся на Браславский, Витебский, Городокский, Миорский, Сенненский и Ушачский районы. Крупными центрами распространения в центральной части страны являются Вилейский, Логойский и Минский районы.

Отмечается относительная стабилизация экспансии этого вида в Беларуси, а в отдельных регионах и сокращение его численности и занимаемой площади. На сегодняшний день вид достаточно успешно сдерживается в Минской области, активно уничтожается в Брестской, Могилевской, Гомельской областях, сохраняются его места произ-

растания в Гродненской области, а в Витебской области отмечается увеличение его численности, особенно в крупнейшем очаге экспансии – Ушачском районе. Также отмечается после некоторого сокращения, вторичное увеличение его распространения в Витебском районе. В г. Минске площади, занимаемые борщевиком Сосновского, за последние 5 лет сократились более чем в 2 раза.

Золотарники канадский и гигантский

Инвазивные золотарники на территории Беларуси (рис. 8, 9) представлены комплексом видов, в котором наиболее часто отмечается золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.). Изредка встречается и золотарник гигантский (*S. gigantea* Aiton). Нередко эти виды между собой гибридизируют.

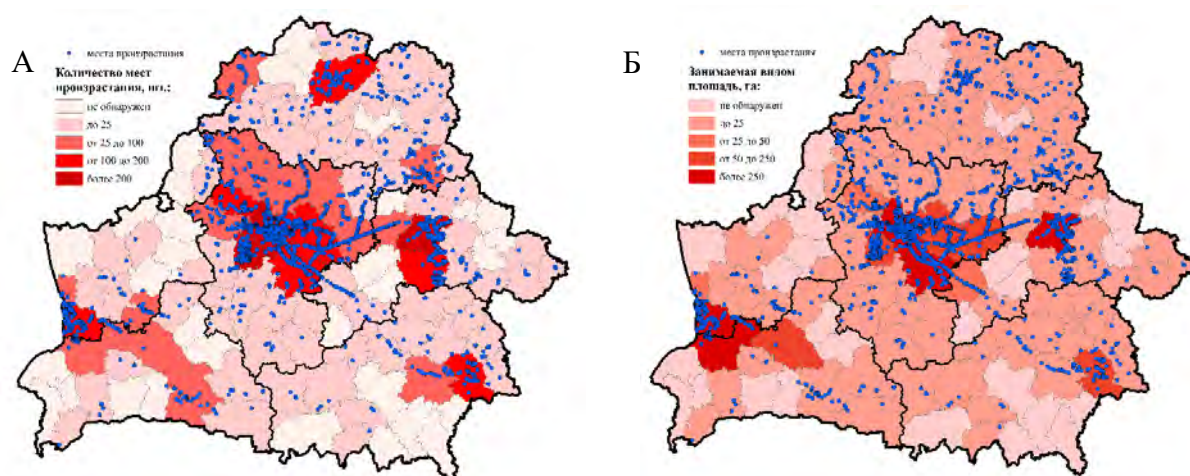


Рис. 8. Распространение инвазивных золотарников в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 8. Distribution of invasive *Solidago* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied



Рис. 9. Основные центры распространения и направления расширения экспансии инвазивных золотарников в Беларуси

Fig. 9. The main distribution centers and directions of expansion of invasive *Solidago* in Belarus

Инвазивные представлены более чем 4,1 тыс. популяциями разной величины и занимают свыше 3125 га земель (см. рис. 8). Однако по экспертным оценкам общая площадь может составлять более 15000 га. В настоящее время это наиболее активно расширяющий свою экспансию вид инвазивных растений в Беларуси. В отличие от гигантских борщевиков, активные мероприятия по его уничтожению в стране начались только в последние 3 года, а их результаты носят ограниченный характер.

Наиболее широко распространен золотарник на территории Минской области (более 2,3 тыс. мест произрастания или 57% от их общего числа по стране), где встречается на площади порядка 1567 га (50,1% от таковой по стране). Основной центр распространения – 70-километровая зона вокруг г. Минска, который продолжает расширяться.

На севере страны золотарник зарегистрирован в 436 местах произрастания, где, в целом, занимает более незначительные площади.

Активная экспансия золотарника в Беларуси, наблюдаемая в последнее время, наиболее характерна для территорий вокруг областных центров (преимущественно – в Могилевском и Гомельском районах), а также в Беловежской пушке (см. рис. 9).

Эхиноцистис лопастной

На территории Беларуси эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. et Gray) из-

вестен со второй половины XX в. До середины 1980-х гг. встречался крайне редко. Его активное внедрение в естественные экосистемы началось с конца XX и начала XXI вв.

В Республике Беларусь зарегистрировано 1719 его местонахождений на площади 708 га. В настоящее время этот вид инвазивных растений встречается на территории почти всех административных районов страны. Довольно широко распространен эхиноцистис на севере Беларуси, в центральном и восточном регионах, реже на западе и юго-западе (рис. 10).

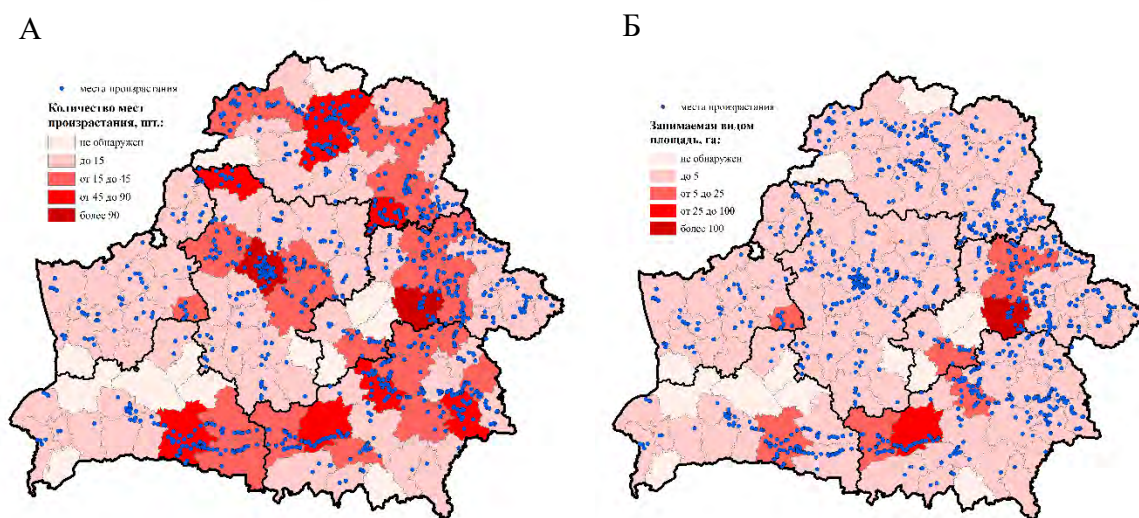


Рис. 10. Распространение эхиноцистиса лопастного в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 10. Distribution of *Echinocystis lobata* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied



Рис. 11. Основные центры распространения и направления расширения экспансии эхиноцистиса лопастного в Беларуси

Fig. 11. The main distribution centers and directions of expansion of *Echinocystis lobata* in Belarus

Наиболее широко распространен эхиноцистис в Могилевской области. Отмечается расширение ареала в Гомельской и Минской областях, где ожидается наиболее активное расширение его экспансии. Минимальные площади вид занимает в Гродненской области (рис. 11).

Можно заключить, что на севере Беларуси активное распространение эхиноцистиса, происходившее в прежние годы, в настоящее время существенно замедлилось, а численность вида стабилизируется. На юге и востоке страны (бассейн р. Днепр) эхиноцистис стремительно увеличивает свою площадь, распространяясь от мелких притоков в долины главных рек, распространяясь вдоль береговой линии. Существенно уменьшилась одна из крупнейших популяций этого вида в Мядельском районе (сокращение более, чем в 100 раз). Это может быть обусловлено рядом причин, среди которых зоогенное воздействие на данный вид со стороны грызунов, для которых семена данного вида служат кормом.

Основными коридорами его миграции будут выступать пойменные земли вблизи крупных водотоков, и, прежде всего, Днепра, Березины, Сожа и Припяти, а также их небольших притоков. Вполне вероятно широкое распространение эхиноцистиса в пойме р. Неман и ее притоков, что уже наблюдается в ряде районов области, в той или иной мере связанных с данной рекой.

Клен ясенелистный

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) в прежние годы широко использовался в качестве растения для озеленения при благоустройстве населенных пунктов и крупных городов. В настоящее время активно внедряется в природные сообщества, образуя популяции разной величины. Часто он представлен небольшими популяциями вдоль автомобильных и железных дорог, а также на территории населенных пунктов.

По состоянию на 2026г. клен ясенелистный в естественных условиях произрастания зарегистрирован в 110 административных районах страны. Общее число популяций превышает 6,3 тыс.,

а занимаемая площадь – более 641 га (рис. 12). Анализируя распространение клена ясенелистного по территории Беларуси, следует отметить, что его расселение в настоящее время происходит преимущественно вдоль дорог с внедрением на пустошные земли и под лесной полог, а также по поймам рек, пересекающих эти дороги и населенные пункты, в которых клен ясенелистный представлен даже небольшими по площади популяциями, но включающими взрослые, дающие семенную продукцию, деревья. Отмечается экспансия клена в пределах речных пойм таких крупных рек, как Днепр, Сож, Западная Двина (и ее притоков).

Активное использование клена ясенелистного в прежние годы для озеленения отдельных городов юго-западного региона в дальнейшем, вероятно, может привести к более широкому распространению этого вида. Увеличения плотности его популяций следует ожидать на всей территории страны. Отмечается формирование кленоясенелистных лесов на Полесье, особенно вблизи надпойменных террас в широких речных поймах.

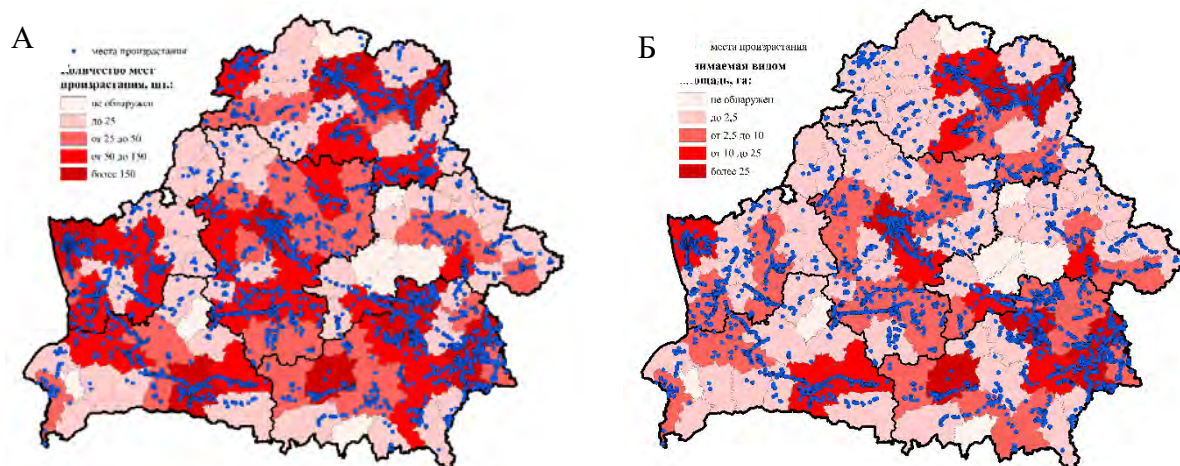


Рис. 12. Распространение клена ясенелистного в Беларуси:
А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 12. Distribution of *Acer negundo* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

Робиния лжеакация

Робиния наиболее часто встречается на юге Беларуси, что в значительной степени обусловлено ее многочисленными посадками в усадебных парках XVIII – начала XX вв., а также в лесополосах вдоль дорог во второй половине XX в.

В настоящее время робиния активно расширяет свой ареал на территории Беларуси. Уже зарегистрировано 3321 местонахождение этого вида на площади свыше 646 га (рис. 13).

Максимальное количество мест произрастания (1393 или 41,9% от общего количества по стране) и наибольшая площадь (более 383 га или

59,3% от общей по стране) отмечены в Гомельской области. В несколько меньшем количестве мест робиния отмечена в Витебской и Могилевской областях. На севере Беларуси робиния редка, что обусловлено, главным образом, особенностями биологии данного вида, существенно страдающего от морозов в зимний период.

Для робинии лжеакации также характерно формирование небольших по площади лесных массивов на юге Беларуси, а вдоль железнодорожной сети вид распространяется активнее, чем клен ясенелистный, формируя в отдельных местах локальные метапопуляции, непрерывно простирающиеся на 1–1,5 км и более.

В дальнейшем следует ожидать значительного расширения экспансии робинии лжеакация, прежде всего, в южных районах, где условия среды более благоприятны для этого дерева. В крайних юго-западных районах плотность произрастания робинии лжеакация может возрасти примерно на 20–25%. Существенное возрастание плотности популяций робинии следует ожидать вдоль железных дорог в поймах рек Березина, Сож и Днепр прежде всего на территории Боб-

руйского, Жлобинского, Гомельского, Буда-Косшелевского и Добрушского районов Гомельской области страны.

Потепление климата в начале XXI в., сопровождающееся повышением зимних температур, может привести к активному продвижению робинии в северные районы и расширению площади ее произрастания в Лепельском, Бешенковичском, Лиозненском, Оршанском, Витебском и Браславском районах.

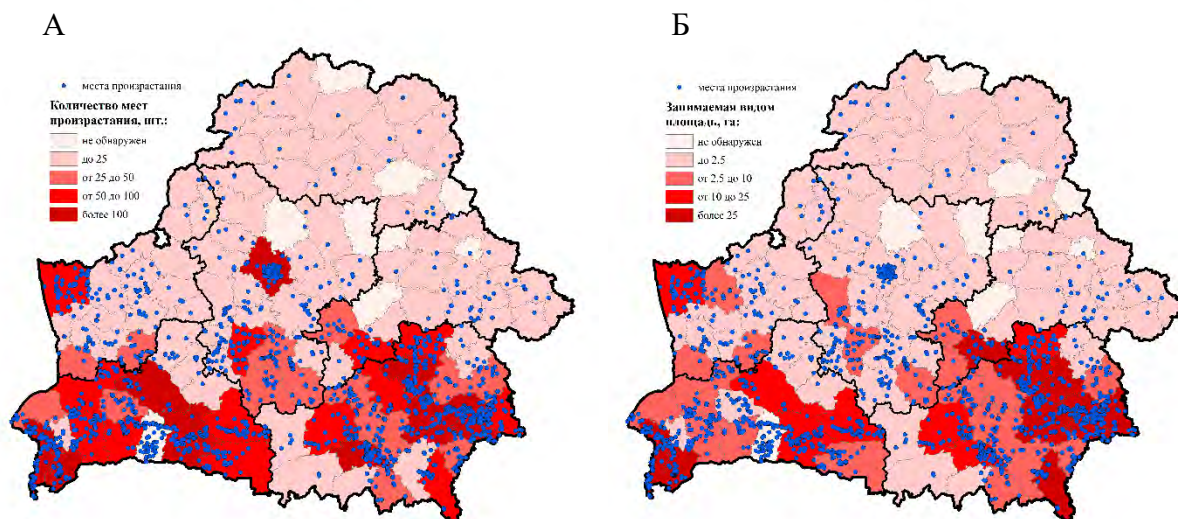


Рис. 13. Распространение робинии лжеакация в Беларуси:
А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 13. Distribution of *Robinia pseudoacacia* in Belarus: A – number of populations, Б – areas occupied

Амброзия полыннолистная

Амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – опасный карантинный сорняк. Первые очаги ее произрастания зарегистрированы в Гомельской и Брестской областях в 1970-е гг. [33]. Впервые она отмечена в 1973 г. в окрестностях д. Пхов Мозырского р-на (MSK). В литературе высказываются предположения, что на этой территории амброзия может натурализоваться [34]. К концу 1970-х гг. периодически выявлялась вдоль железных и шоссейных дорог, на пустошах, свалках, клумбах [35]. В 2010-е гг. началась вторая волна увеличения численности амброзии на территории страны, локализованная на юге Гомельской области (Речицкий, Добрушский, Ветковский и в большей степени Гомельский районы).

В настоящее время зарегистрировано 272 места произрастания этого вида на площади более 71 га (рис. 14).

Основная занимаемая растением площадь отмечена в южной части г. Гомеля (около 65% от суммарной занимаемой видом площади по всей стране). На двух местонахождениях отмечено проникновение вида на территорию сельскохо-

зяйственных угодий, что в долгосрочной перспективе способно привести к экологическому кризису на Гомельщине и многократно ускорить распространение карантинного вида (как это произошло в Венгрии во второй половине XX – начале XXI вв.).

На территории Гомельской области 82% всех мест произрастания амброзии приурочено к обочинам автодорог [36]. При этом треть таких автодорог имеют статус международного значения, что может указывать на занос амброзии из-за пределов страны. Встречаемость амброзии вблизи железных дорог (6,2% местонахождений) и на пустырях в населенных пунктах (11,8%) значительно ниже.

В настоящее время при распространении амброзии полыннолистной на территории Беларуси важнейшую роль играют четыре фактора [37]:

- а) климатическими изменениями, способствующими раннему прорастанию и относительно раннему цветению теплолюбивого растения, созреванию многочисленного количества семян;
- б) расположением некоторых мест произрастания в непосредственной близости к крупным

водотокам. Например, амброзия полыннолистная, произрастающая на берегу р. Сож (г. Гомель) весной 2024 г. подверглась сильному подтоплению во время половодья, что способствовало увеличению занимаемой инвайдером площади как на самом месте произрастания (на 43,38%, с 1,1895 до 1,7055 га), так и распространению семян вниз по течению (осенью 2024 г. амброзия обнаружена в аг. Новая Гута в 30 км к югу);

в) массовым проникновением карантинного вида на сельскохозяйственные угодья. В 2025 г. в г. Гомеле отмечено заселение амброзии на заброшенный луг, частично распаханый под выращивание пшеницы (северо-восток города), а также

на участок пашни площадью около 2 га (между мкрн. Хутор и д. Ченки), которая не использовалась в связи с длительным затоплением во время половодья. На ней проективное покрытие амброзии достигало 45–60%, а растения достигали высоты 0,9–1,4 м. В случае, если на этих участках будет проводиться хозяйственная деятельность, высока вероятность распространения семян растений при помощи «загрязненной» сельскохозяйственной техники. Подобные действия, например, привели к экологическому кризису в Венгрии, где за короткий период (около 20–30 лет) занимаемая амброзией площадь превысила 6 млн га;

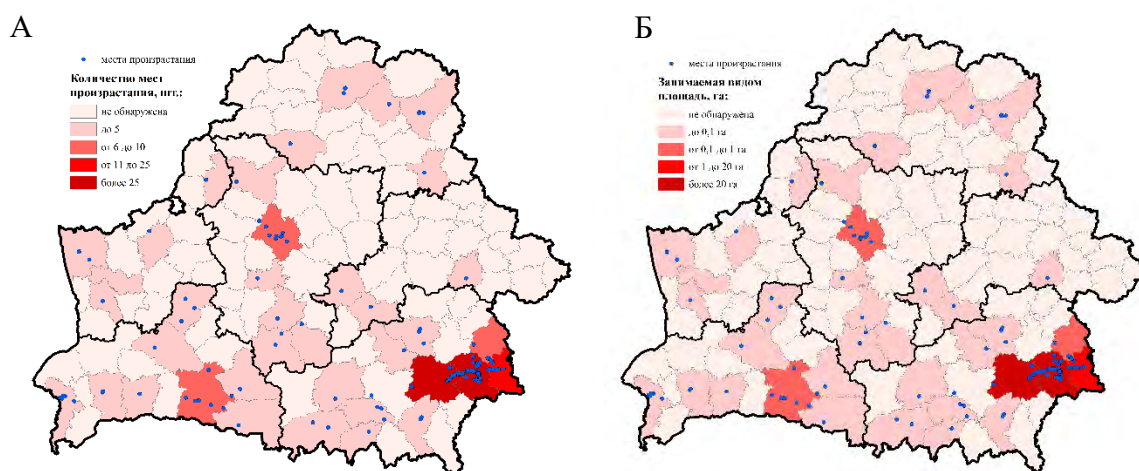


Рис. 14. Распространение амброзии полыннолистной в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 14. Distribution of *Ambrosia artemisifolia* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

г) произрастанием преимущественно вдоль автомобильных дорог, что способствует формированию линейно вытянутых популяций, тянущихся на сотни метров, главным образом, вдоль мест с высокой транспортной нагрузкой. Следует отметить, что амброзия способна проходить полный цикл онтогенеза даже в тех местах, где другие растения не произрастают (например, на тонком слое «безжизненной» придорожной пыли, хоть и имеет высоту до 15–20 см, а семян созревает меньше).

Наиболее активно амброзия распространяется вдоль автомобильных дорог, где она быстро расширяет свой ареал, формируя линейные популяции, а также на пустошных землях, где проективное покрытие амброзии за довольно короткий период может возрастать в десятки раз.

Вероятно, с постепенной адаптацией вида к более прохладному климату будет отмечаться и миграция вида на север страны и активное освоение южной половины страны (рис. 15).



Рис. 15. Центры распространения амброзии полыннолистной в Беларуси и основные направления ее экспансии

Fig. 15. Distribution centers of *Ambrosia artemisifolia* in Belarus and the main directions of its expansion

Учитывая историю нашествия *A. artemisiifolia* в других европейских странах [38–41], можно сделать вывод, что данный вид все еще находится в самом начале экспоненциального роста численности. Перспективы расселения вида в ближайшие 15–20 лет на порядки превосходят показатели других инвазивных видов растений (вероятно, вместе взятых).

Так, за два десятилетия взрывного роста численности амброзии на территории Венгрии «заражено» 5,4 млн га (или 80%) пахотных земель, из них 0,7 млн га (10% от общего количества) подверглись сильному зарастанию. Таким образом, теоретически, на территории Беларуси в течение ближайших двух десятилетий амброзия может распространиться на территории около 6,2–6,7 млн га, при этом подвергнется сильному «загрязнению» около 0,72–0,88 млн га. Это значительно превосходит возможности золотарника канадского, который на сегодняшний день считается наиболее агрессивным инвазивным видом в Беларуси.

Дуб красный

Дуб красный, или северный (*Quercus rubra* L.) в Беларуси выращивается не менее 100 лет, однако наиболее активно начал использоваться со второй половины XX в. В Государственном кадастре растительного мира учтено 976 популяций, занимающих общую площадь 501 га. В своем распространении приурочен к юго-западной части страны (рис. 16).

Центром его распространения является Беловежская пуца и Брестский район, где сосредоточено около 40% всех известных популяций. Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь данный вид признан обязательным для уничтожения на особо охраняемых природных территориях и проведение мероприятий по ограничению его распространения уже начаты. Дальнейшее развитие экспансии этого вида зависит от их эффективности.

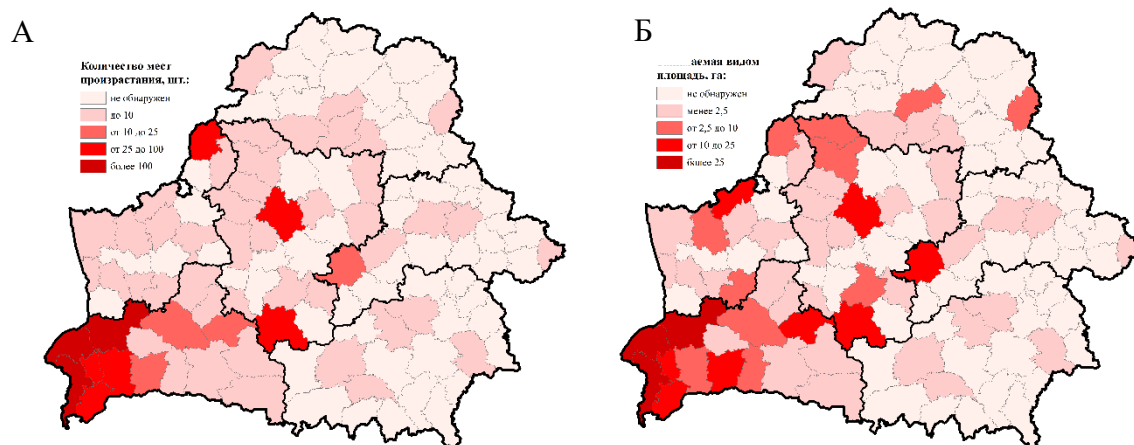


Рис. 16. Распространение дуба красного в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 16. Distribution of *Quercus rubra* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

Далее рассмотрены несколько опасных инвазивных видов растений Беларуси, не подлежащих обязательному ограничению их распространения в стране, однако в следствие их расширяющейся экспансии, они могут представлять серьезную угрозу природным комплексам уже в ближайшем будущем.

Недотрога железконосная

Недотрога железконосная (*Impatiens glandulifera* Royle) – агрессивное инвазивное травянистое растение, в последние годы активно расширяет свое присутствие как в Беларуси, так и в сопредельных странах.

Распространена по всей территории страны, однако большая часть ее региональной популяции сосредоточена в северной и центральной частях (рис. 17). Специальных исследований распространения этого вида не проводилось, в Государственном кадастре растительного мира учтено 108 мест ее произрастания на общей площади 8,0767 га.

По имеющимся наблюдениям экспансия этого вида в Беларуси носит взрывной волновой характер. Периоды быстрого расширения и захвата новых территорий чередуются периодами покоя и незначительного расширения площади распространения.

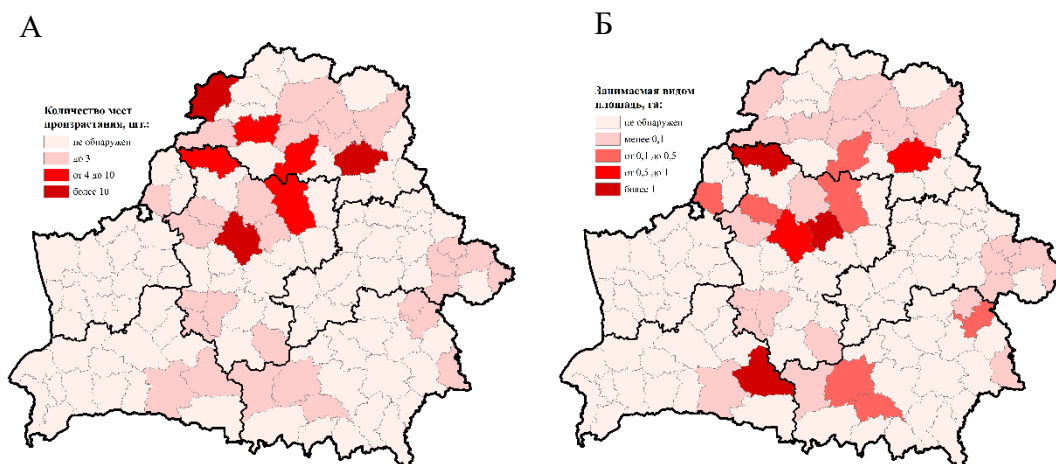


Рис. 17. Распространение недотроги железконосной в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 17. Distribution of *Impatiens glandulifera* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

Рябинник рябинолистный

Рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun) – агрессивное кустарниковое инвазивное растение-трансформер, значительно меняющее характер напочвенного покрова и параметры среды в местах, где он образует сплошные заросли. Расширяет свою экспансии медленно. К настоящему времени в Государственном кадастре растительного мира зафиксировано 188 популяций, на общей площади 34,2 га. Распространен преимущественно в северо-западной части страны (рис. 18).

Поселяясь на месте старых усадебных парков, вблизи деревень, дач, кладбищ, на опушках постепенно расширяет свое присутствие. В последние годы регистрируется на значительном удалении от населенных пунктов. И хотя сейчас его численность и площадь распространения невелика, необходимо активно проводить ограничительные мероприятия, поскольку в ряде мест (например парк Ольшево) он уже приводит к значительной трансформации природных комплексов, оказывая негативное воздействия на популяции редких и исчезающих видов.

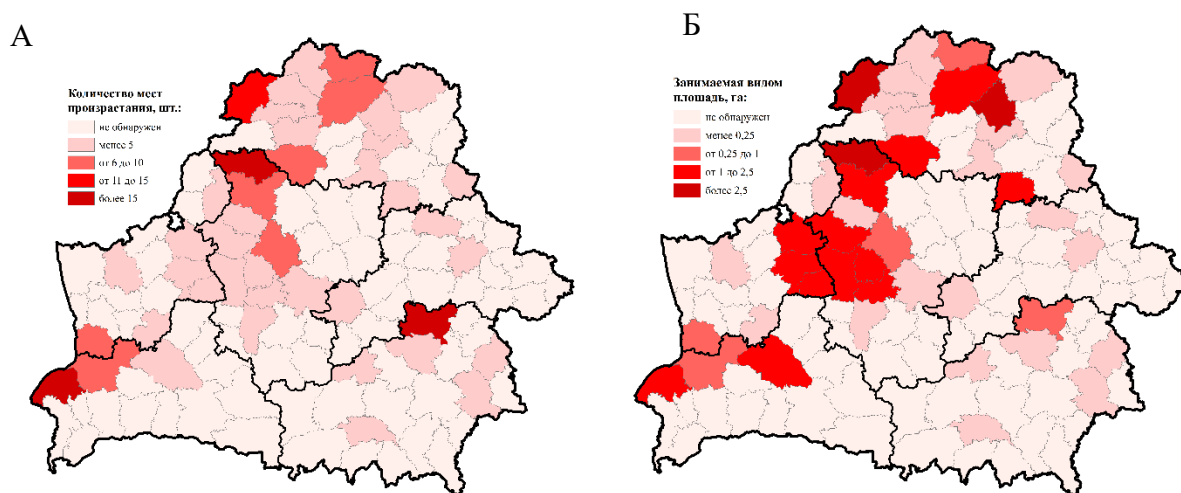


Рис. 18. Распространение рябинника рябинолистного в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 18. Distribution of *Sorbaria sorbifolia* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

Топинамбур, подсолнечник клубненосный

Подсолнечник клубненосный или топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) распространен по всей территории Беларуси, хотя встречается изредка. К настоящему времени отмечено 199 мест его произрастания на общей площади 11,8 га (рис. 19). Наи-

более часто встречается в Шумилинском, Минском, Пинском и Городокском районах. Характер экспансии этого вида в Беларуси носит волновой характер при постепенном расширении географии его произрастания и проникновения в новые, различной степени нарушенности экосистемы.

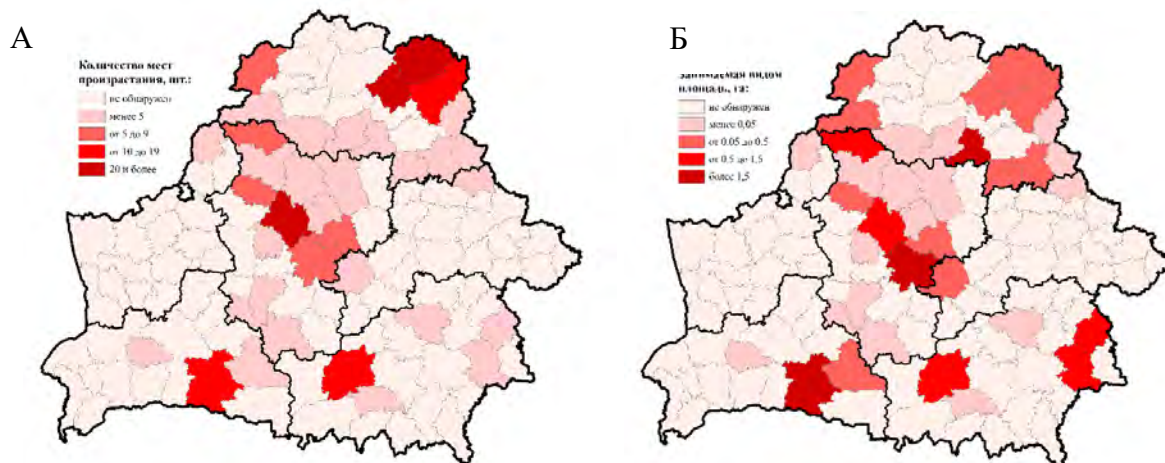


Рис. 19. Распространение подсолнечника клубненосного в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 19. Distribution of *Helianthus tuberosus* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

Черда олиственная

Черда олиственная (*Bidens frondosa* L.) распространена в основном в южной части страны, где в ряде регионов занимает относительно большие по площади участки, особенно в поймах рек Припяти, Сожа, Днепра (рис. 20). На севере встречается редко, но постепенно продвигается в этом направлении. Всего в Государственном кадастре растительного мира зарегистрировано 340 мест ее произрастания на общей площади 37,8 га,

хотя, вероятно, ее распространение значительно шире.

Черда олиственная активно проникает в луговые природные сообщества, особенно в поймах рек, вытесняя близкородственные виды. В тоже время ее распространение на суходольных участках не столь велико и расширение ее экспансии в последнее время несколько замедлилось, по сравнению с взрывным характером расширения в начале XXI в.

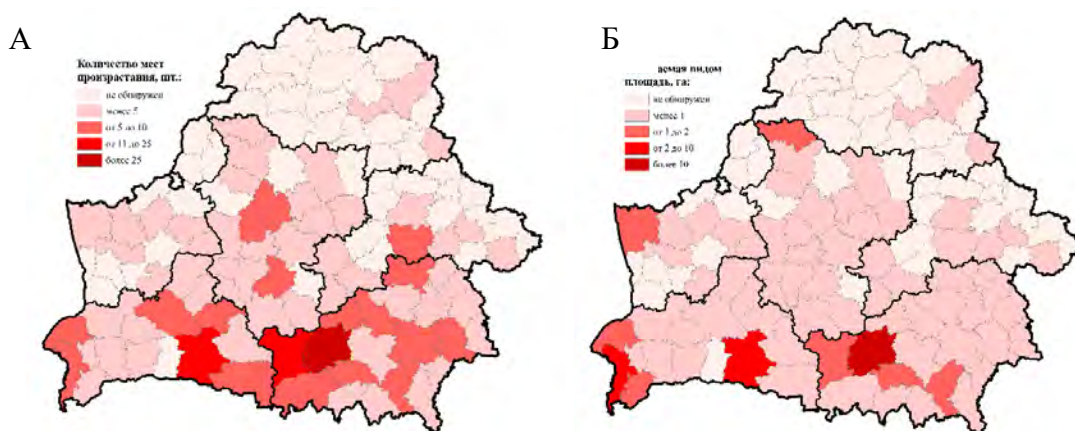


Рис. 20. Распространение черды олиственной в Беларуси:

А – количество мест произрастания, Б – занимаемые площади

Fig. 20. Distribution of *Bidens frondosa* in Belarus: А – number of populations, Б – areas occupied

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс проникновения и расширения экспансии инвазивных видов растений на территорию Беларуси будет продолжаться. Ожидается проникновение новых и переход, ранее отмеченных в единичных местонахождениях, от стадии вселения к стадии экспансии. В тоже время отмечается нелинейный характер экспансии большинства опасных инвазивных видов растений. Гигантские борщевики, благодаря осуществлению комплекса мероприятий по его ограничению, близки к стадии стабилизации распространения и сокращения численности, особенно на юге и в центральной части страны. Максимально активная фаза расширения экспансии отмечена для инвазивных золотарников и амброзии полыннолистной, которые в ближайшие годы значительно увеличат свою численность и площадь распространения. В тоже время эхиноцистис лопастной постепенно отступает на юго-восток. Дальнейшие исследования покажут, носят ли эти изменения временный колебательный характер или же его отступление будет продолжаться в дальнейшем.

Экспансия древесных опасных инвазивных видов растений будет продолжаться, которые будут стремиться не только активно проникать в естественные сообщества, но и формировать монодоминантные насаждения (особенно в отношении клена ясенелистного. В отношении дуба красного многое будет зависеть от деятельности Министерства лесного хозяйства по интродукции данного вида и реализации комплекса мероприятий на особо охраняемых природных территориях.

Необходимо продолжение мониторинга экспансии инвазивных видов растений в Беларуси, их глубокое всестороннее изучение и разработке Национальной стратегии по ограничению распространения инвазивных видов растений и животных, которая позволит на новом уровне собрать и проанализировать информацию о динамике и направлениях экспансии инвазивных видов, так и обобщить современный опыт проведения мероприятий по их ограничению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Using species ranges and macroeconomic data to fill the gap in costs of biological invasions / I. Soto, P. Courtois, A. Pili et al. // *Nature Ecology & Evolution*. – 2025. – Vol. 9. – P. 1021–1030.
2. Тишков, А. А. *Biosfernye funkcii prirodnih ekosistem Rossii = Биосферные функции природных экосистем России* / А. А. Тишков. – М. : Наука, 2005. – 309 с.
3. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions / D. Pimentel, S. McNair, J. Janecka et al. // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2001. – Vol. 84. – P. 1–20.
4. Economic costs of biological invasions in terrestrial ecosystems in Russia / N. Kirichenko, P. J. Haubrock, R. N. Cuthbert et al. // *NeoBiota*. – 2021. – Vol. 67. – P. 103–130.
5. *Invasive Alien Species Assessment: Summary for Policymakers* / H. E. Roy, A. Pauchard, P. Stoett et al. ; ed. by P. Genovesi, J. R. Wilson. – Bonn : IPBES Secretariat, 2019. – 56 p.
6. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / под ред. Ю. Ю. Дгебуадзе, В. Г. Petrosjan, Л. А. Хляп. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2018. – 688 с.
7. Конвенция Организации Объединенных Наций о биологическом разнообразии : [заключена в г. Рио-де-Жанейро 05.06.1992 г.] // Организация Объединенных Наций : официальный сайт. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml (дата обращения: 01.06.2026).
8. *Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats* / Council of Europe Portal. – URL: <https://rm.coe.int/1680078aff> (date of access: 01.06.2026).
9. Глобальная стратегия сохранения растений / Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии, Отделение Международного совета ботанических садов по охране растений. – [б. м.], 2002. – 19 с. – URL: <https://www.cbd.int/doc/publications/pc-brochure-ru.pdf> (дата обращения: 01.06.2026).
10. Европейская стратегия сохранения растений: сохранение растений Европы : [пер. с англ.] / Planta Europa [и др.]. – М., 2003. – 39 с.
11. *European strategy for plant conservation (2008–2014): a sustainable future for Europe : convention on the conservation of European wildlife and natural habitats : Standing Comm., 28th meeting, Strasbourg, 24–27 Nov. 2008* / Plantlife Intern. (Salisbury, UK), Council of Europe (Strasbourg, France). – Strasbourg : The Planta Europa Network, 2008. – 48 p.
12. Европейская стратегия по инвазивным чужеродным видам / Постоянный комитет Конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе ; под общ. ред. П. Дженовези, К. Шайн. – Страсбург : Council of Europe, 2003. – 55 с.
13. О вопросах в области сохранения и устойчивого использования биологического разнообразия : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 4 февраля 2026 г. № 60 / Совет Министров Республики Беларусь. – URL: <https://government.by/sites/default/files/resolution/2026-02/60.pdf> (дата обращения: 25.05.2026).

14. Ламан, Н. А. Гигантские борщевики – опасные инвазивные виды для природных комплексов и населения Беларуси / Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров, О. М. Масловский ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Право и экономика, 2009. – 40 с.
15. Методические указания и рекомендации по учету и мониторингу инвазивных видов растений / Л. С. Чумаков, О. М. Масловский, И. П. Сысой [и др.] ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : АльПак, 2023. – 50 с.
16. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь. Основы кадастра. Первичное обследование 2002–2017 гг. / О. М. Масловский, А. В. Левкович, И. П. Сысой [и др.] ; науч. ред. А. В. Пугачевский ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2019. – 599 с.
17. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик, С. А. Дмитриева, Н. А. Ламан [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского ; Ин-т эксперим. ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2020. – 407 с.
18. Стратегия и план действий по борьбе с борщевиком Сосновского и другими наиболее опасными инвазивными видами растений на территории Республики Беларусь на 2018–2025 гг. : утв. решением коллегии М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь от 10 августа 2018 г. № 48-Р / М-во природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Мн. : Минприроды, 2018. – 23 с.
19. Требования к проведению работ по ограничению распространения и численности инвазивных растений (борщевика Сосновского, золотарника канадского, эхиноцистиса лопастного и других инвазивных растений) различными методами = Патрабаванні да правядзення работ па абмежаванні распаўсюджвання і колькасці інвазіўных раслін (баршчэўніка Сасноўскага, залатарніка канадскага, эхінацысіса лопасцевага і іншых інвазіўных раслін) рознымі метадамі : ТКП 17.05-03-2020 (33140). – Введ. 16.07.2020. – Мн. : Минприроды, 2020. – 19 с.
21. Адвентивная флора Воронежской области: исторический, биогеографический, экологический аспекты / А. Я. Григорьевская, Е. А. Стародубцева, Н. Ю. Хлызова, В. А. Агафонов ; под ред. А. А. Тишкова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 320 с.
22. The Global Invasive Species Program: global program review / World Bank Group, Independent Evaluation Group. – Washington, DC : WBG, IEGCS, 2009. – Vol. 3, iss. 4. – 90 p.
23. Invasive Species Definition Clarification and Guidance / Invasive Species Advisory Committee, U.S. Department of the Interior. – Washington, DC : ISAC, 2006. – 7 p.
24. Colautti, R. I. A neutral terminology to define 'invasive' species / R. I. Colautti, H. J. MacIsaac // Diversity and Distributions. – 2004. – Vol. 10, no. 2. – P. 135–141.
25. Williamson, M. H. The varying success of invaders / M. H. Williamson, A. Fitter // Ecology. – 1996. – Vol. 77, no. 6. – P. 1661–1666.
26. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions / D. M. Richardson, P. Pyšek, M. Rejmanek [et al.] // Diversity and Distributions. – 2000. – Vol. 6. – P. 93–107.
27. Richardson, D. M. Naturalization of introduced plants: ecological drivers of biogeographical patterns / D. M. Richardson, P. Pyšek // The New Phytologist. – 2012. – Vol. 196, no. 2. – P. 383–396.
28. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists / P. Pyšek, D. M. Richardson, M. Rejmanek et al. // Taxon. – 2004. – Vol. 53, no. 1. – P. 131–143.
29. Овчарова, Н. В. Инвазивная активность адвентивных видов растений на территории правобережья р. Оби (Алтайский край) / Н. В. Овчарова, Т. А. Терехина // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2016. – № 15. – С. 349–354.
30. Нотов, А. А. Основные направления изучения генезиса адвентивного компонента флор / А. А. Нотов, В. А. Нотов // Вестник ТвГУ. Сер. «Биология и экология». – 2009. – № 14. – С. 127–141.
31. Schroeder, F. G. Zur Klassifizierung der Anthropochoren / F. G. Schroeder // Vegetatio. – 1968. – Vol. 16. – P. 225–238.
32. Crosby, A. W. Ecological Imperialism: The Biological Expansion of Europe, 900–1900 / A. W. Crosby ; eds.: D. Worster, J. R. McNeill. – 2nd ed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2004. – 403 p.
33. Lockwood, J. L. Invasion Ecology / J. L. Lockwood, M. F. Hoopes, M. P. Marchetti. – Malden : Blackwell Publishing, 2007. – 304 p.
34. Снитко, М. Л. Карантинные организмы, представляющие реальную угрозу для Республики Беларусь : лекция для слушателей ФПК и студентов агрономических специальностей / М. Л. Снитко, Ю. А. Миренков ; рец.: С. В. Сорока, В. Н. Кругленька ; М-во сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, Гл. упр. образования, науки и кадров, Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки : БГСХА, 2007. – 44 с.
35. Марьюшкина, В. Я. Амброзия полыннолистная и основы биологической борьбы с ней / В. Я. Марьюшкина ; Акад. наук Украинской ССР, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного. – Киев : Наукова думка, 1986. – 120 с.
36. Растения-агрессоры. Инвазионные виды на территории Беларуси / Д. В. Дубовик, В. Н. Лебедько, В. И. Парфенов [и др.] ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская Энцыклапедыя імя Пётруся Броўкі, 2017. – 192 с.
37. Гусев, А. П. Вторжение *Ambrosia artemisiifolia* L. в ландшафты юго-востока Беларуси / А. П. Гусев // Российский журнал биологических инвазий. – 2019. – № 1. – С. 29–37.

38. Лапицкий, В. М. Распространение амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в бассейне реки Сож в Беларуси: очаги экспансии, риски и методы борьбы / В. М. Лапицкий // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы XIV Международной научно-практической конференции, Брянск, 25 апреля 2025 г. – Брянск : БГИТУ, 2025. – С. 69–74.
39. Кулешов, Н. Н. Сохранение всхожести сорняками, находящимися в почве / Н. Н. Кулешов // Советская агрономия. – 1947. – № 4. – С. 81–85.
40. Sheppard, A. W. Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption / A. W. Sheppard, R. H. Shaw, R. Sforza // Weed Research. – 2006. – Vol. 46. – P. 93–117.
41. Alberternst, B. Biodiversity impacts of common ragweed / B. Alberternst, S. Nawrath, U. Starfinger // Julius-Kühn-Archiv. – 2016. – Vol. 455 : HALT Ambrosia – final project report and general publication of project findings. – P. 188–226.
42. Biological Flora of the British Isles: *Ambrosia artemisiifolia* / F. Essl, K. Biró, D. Brandes [et al.] // Journal of Ecology. – 2015. – Vol. 103, no. 278. – P. 1069–1098.

Поступила в редакцию 08.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Масловский Олег Мечеславович – доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией ресурсов и кадастра растительного мира Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Лапицкий Владислав Максимович – младший научный сотрудник лаборатории ресурсов и кадастра растительного мира Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Сысой Ирина Петровна – кандидат биологических наук, заместитель директора по научной и инновационной работе Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Масловский, О. М. Основные направления экспансии инвазивных видов растений в Беларуси и прогноз динамики их распространения / О. М. Масловский, В. М. Лапицкий, И. П. Сысой // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 145–165.

УДК 581.14:(632.51+633/635)

В. Н. ПРОХОРОВ, Е. Н. КАРАСЕВА, Д. С. КОРЖОВА, Т. В. ФРОЛОВА,
А. В. БАБКОВ, М. М. САК, А. Н. ГРИЦ, А. Ф. СУДНИК

ИНВАЗИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРЕССИВНЫХ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ БЕЛАРУСИ И ПУТИ ОГРАНИЧЕНИЯ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: fitoinvaz@botany.by*

Аннотация. В статье приведены основные факторы, определяющие уровень инвазионного потенциала наиболее агрессивных чужеродных травянистых видов растений Беларуси. Показано, что их высокая инвазионная активность обусловлена в первую очередь проявлением таких свойств, как высокая семенная продуктивность растений и всхожесть семян в течение длительного времени, большая лабильность к влиянию различных факторов внешней среды, быстрое прорастание семян и интенсивный линейный рост растений в начале онтогенеза, способность формировать плотные моноценозы, высокая аллелопатическая активность. При наличии у вида одновременно нескольких таких свойств, особенно при нарушенном растительном покрове, агрессивность чужеродных растений резко возрастает. На основе комплексной оценки факторов, определяющих инвазионный потенциал приводятся основные профилактические и истребительные мероприятия по ограничению их распространения.

Ключевые слова: Инвазионный потенциал растений, чужеродные виды растений, борщевик Сосновского, золотарник канадский, недотрога мелкоцветковая, недотрога железконосная, мелколепестник канадский, мелколепестник однолетний, эхиноцистис лопастной, юглоновый индекс.

V. N. PROKHOROV, E. N. KARASIOVA, D. S. KARZHOVA, T. V. FROLOVA,
A. V. BABKOV, M. M. SAK, A. N. GRITS, A. F. SUDNIK

INVASIVE POTENTIAL OF AGGRESSIVE ALIEN PLANT SPECIES IN BELARUS AND WAYS TO LIMIT THEIR SPREAD

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: fitoinvaz@botany.by*

Abstract. This article presents the key factors determining the invasive potential of the most aggressive alien herbaceous plant species in Belarus. It is shown that their high invasive activity is primarily due to such properties as high seed production and long-term seed germination, high lability to various environmental factors, rapid seed germination and intensive linear growth at the beginning of ontogenesis, the ability to form dense monocenoses, and high allelopathic activity. When a species simultaneously exhibits several of these properties, especially when the vegetation cover is disturbed, the aggressiveness of alien plants increases dramatically. Based on a comprehensive assessment of the factors determining their invasive potential, the main preventive and eradication measures to limit their spread are presented.

Key words: Invasive potential of plants, alien plant species, Sosnowsky's hogweed, canadian goldenrod, touch-me-not, iron-bearing touch-me-not, canadian fleabane, annual fleabane, echinocystis lobata, juglone index.

ВВЕДЕНИЕ

В мире наблюдается экспансия чужеродных видов с высокой инвазионной активностью в аборигенные сообщества и экосистемы, культурфитоценозы и даже урбанизированные территории, что привело к серьезным экологическим, экономическим и социальным последствиям.

Биологические инвазии оказывают более негативное воздействие на окружающую среду, чем химическое загрязнение, а для отдельных стран инвазивные виды уже в настоящее время пред-

ставляют по сравнению с изменением климата даже более серьезную угрозу. Считается, что они входят в пятерку основных угроз биоразнообразию во всем мире и часто являются причиной исчезновения аборигенных организмов, деградации редких и находящихся под угрозой экосистем, снижения продуктивности сельскохозяйственных культур и др.

Высокая инвазивная активность агрессивных чужеродных видов обусловлена наличием таких

свойств, как быстрый линейный рост в высоту и увеличение размеров растений; высокая жизнеспособность и плодовитость, позволяющие им начать экспансию на новой территории; высокая полевая всхожесть семян в течение длительного времени; широкая экологическая устойчивость; способность к нормальному росту и развитию при значительных колебаниях внешней среды, аллелопатической активности и др. [1].

Важно понять, какие биотические и абиотические факторы оказывают решающее влияние на

уровень инвазионного потенциала. Почему инвазивные растения часто более конкурентоспособны в новом ареале, чем в родном, является центральным вопросом инвазионной биологии растений [2].

В Институте экспериментальной ботаники НАН Беларуси в последние годы проводятся широкие исследования по оценке инвазионного потенциала агрессивных чужеродных видов растений Беларуси и разработке научно-практических подходов по ограничению их распространения [3–7].

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили чужеродные виды растений с высокой инвазионной активностью: борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden), золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.), недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora* DC), недотрога железконосная (*Impatiens glandulifera* Royle), мелколепестничек канадский (*Coniza canadensis* (L.) Pers.S.L.), однолетний (*Erigeron annuus* (L.) Pers.S.L.), эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray) и др., краткая характеристика эколого-биологических свойств которых приведена ниже.

Борщевик Сосновского – вид трансформер, в местах обитания практически полностью вытесняет аборигенную растительность, образуя значительные монодоминантные растительные сообщества, активно внедряется в естественные и нарушенные природные сообщества и занимая большие территории (рис.1). Большая скорость расселения отмечена на увлажненных плодородных почвах, особенно обилеи вокруг ферм, по берегам рек и оврагах. Обладает высокой экологической пластичностью, засухоустойчивостью, холодостойкостью и морозоустойчивостью. Среди факторов, определяющих высокий инвазионный потенциал борщевика Сосновского являются: раннее отрастание весной до появления другой растительности; относительно низкая смертность молодых растений; быстрый рост, способность расти скученно и вытеснять другие (аборигенные) растения; постоянный процент растений (около 30%), которые цветут и обеспечивают семена; способность растений отложить цветение в неподходящих условиях (до тех пор, пока необходимые условия не возникнут); раннее цветение, которое позволяет семенам полностью вызреть; перекрестноопыляемое растение, но возможно и самоопыление; большая плодовитость, позволяющая одному растению обеспечить широкое расширение вида; большое количество семян, которые сохраняются в почве более 10 лет; сильное аллелопатическое влияние на со-

путствующие виды; быстрое расселение с помощью воды и ветра.



Рис. 1. Растение борщевика Сосновского в фазе цветения

Fig. 1. *Heracleum sosnowskyi* plant in the flowering phase

Золотарник канадский – вид трансформер, внесенный в «Список инвазивных видов, составленный «ЕРРО», в который входят виды, наносящие серьезный ущерб аборигенным видам растений, окружающей среде и биологическому разнообразию. Основные места распространения золотарника – пустыри, заброшенные земли, которые еще недавно эксплуатировались в качестве сельскохозяйственных, земли под ЛЭП и газонепфтепроводами, массивы лесопарков (рис.2).



Рис. 2. Фитоценоз, состоящий из различных генотипов из рода Золотарник

Fig. 2. Phytocenosis consisting of different genotypes of the genus *Solidago*

Быстро распространяется в местах обитания, характеризующихся разнообразной текстурой почвы, pH, содержанием питательных веществ [8]. Растения золотарника способны давать новые побеги из фрагментов корневищ, находящихся на глубине 20 см от поверхности земли, причем во вторичном ареале формируют больше побегов из почек возобновления, чем местные популяции, что усиливает их конкурентоспособность.

Растения золотарника способны формировать до 100000 жизнеспособных семян. Кроме того, корни золотарников выделяют аллелопатически активные соединения, которые могут ингибировать рост других растений. Так, исследования китайских ученых показали, что золотарник канадский в Китае обладает более высокой конкурентоспособностью, чем в США и что ее повышение на 46,1% обусловлено аллелопатией [9].

Сочетание этих факторов говорит о большом инвазионном потенциале этого вида.

Недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora* DC.) – один из самых распространенных инвазивных видов в Центральной Европе. В настоящее время вид зарегистрирован в 35 странах Европы, однако наибольшее распространение получил в основном в последние десятилетия. При массовом распространении образует значительные по площади одновидовые сообщества, местами с проективным покрытием до 100% [10].

Активно заселяет нарушенные местообитания, внедряется в естественные лесные, прибрежные и луговые фитоценозы, что негативно сказывается на природном биоразнообразии. Наиболее характерными местами произрастания этого вида в Беларуси являются берега водотоков и рудеральные сообщества в населенных пунктах. Вид отличается высокой степенью адаптации к широкому варьированию экологических факторов [1]. Быстро распространяется на территориях с антропогенно нарушенным почвенным покровом, но может легко проникать в нерудеральные сообщества, особенно в места, где другие виды не могут расти из-за недостатка света. Благодаря широкому спектру адаптаций к режиму освещенности [11] обладает высокой конкурентоспособностью. Отличается меньшей потребностью в питательных веществах и лучшей адаптацией к тени. Среди лимитирующих факторов отмечаются летняя засуха, низкие температуры ранней весной и высокие температуры в конце весны и лета.

Массовое распространение недотроги мелкоцветковой приводит к существенному сокращению биоразнообразия (рис.3). Как показывают наши наблюдения, через 10 лет после вторжения этого вида в смешанный елово-березовый лес, под его пологом не только значительно снижается количество других травянистых видов растений, но и резко сокращаются запасы ягод и грибов.



Рис. 3. Популяция недотроги мелкоцветковой в смешанном лесу

Fig. 3. Population of *Impatiens parviflora* in a mixed forest

Недотрога железконосная (*Impatiens glandulifera* Royle). С 2004 г. вид входит в список инвазивных чужеродных растений 52 стран организации ЕРРО (*European and Mediterranean Plant Protection Organization*), как вид, представляю-

щий серьезную угрозу здоровью растений, окружающей среде и биоразнообразию в регионе (рис. 4). Заселяет нарушенные местообитания, образует одновидовые сообщества, активно внедряется в естественные лесные, прибрежные,



Рис. 4. Растения недотроги железконосной в фазе цветения

Fig. 4. Plants of the *Impatiens glandulifera* at the flowering stage

луговые, болотные фитоценозы. Наиболее часто встречается в населенных пунктах, на приусадебных участках и вблизи них, а также по берегам водоемов, в сырых и заболоченных лесах, на свалках бытового мусора и других рудеральных местообитаниях. При этом наблюдается вытеснение этим видом не только однолетних, но и многолетних аборигенных видов, что в последствии приводит к сокращению местообитаний природных видов растений, нарушению или разрушению естественных сообществ. Препятствует возобновлению лесов в сырых полустенных местообитаниях. Вид может расти при незначительном содержании влаги в почве, однако оптимальной для развития является ее высокая влажность [11]. Толерантна к широкому спектру почв. В настоящее время наблюдается тенденция колонизации этим видом бедновидовых и деградировавших сообществ преимущественно гигрофильной растительности, хотя растение требует относительно богатых питательными веществами местообитаний, особенно хорошо себя чувствует на часто нарушаемых территориях. Быстрый линейный рост стебля недотроги железконосной, в сочетании с большой высотой растений дает этому виду значительное преимущество в перехвате приходящей ФАР и формированию высокого инвазионного потенциала.

Мелколепестничек канадский (эригерон канадский) (*Coniza canadensis* (L.) Crong., *Erigeron canadensis* L.) (рис.5). Вид относят к наиболее распространенным европейским чужеродным видам, где в большинстве стран отнесен к инвазивным видам – трансформерам. В ряде стран Западной Европы (например, Великобритания, Ирландия) отнесен к аллергенам. В Беларуси часто встречается по обочинам дорог, пустырях и мусорных местах, вблизи жилья, на полях, галечниках и песчаных отмелях, на выработанных торфяниках, вырубках, в карьерах, вдоль лесных дорог и тропинок. Обилен вдоль вытоптанных тропинок в парках и скверах, железнодорожных насыпей, вдоль трубопроводов на различных техногенных территориях, часто формируя практически одновидовые сообщества. В последнее время широко встречается в урбанизированных условиях, на антропогенно нарушенных почвах, существенно снижая декоративность различных ландшафтов. Обладает широкой амплитудой толерантности. Высокая фитоценотическая активность наблюдается на рыхлых, средневлажных, слабокислых или нейтральных, умеренно богатых минеральным азотом песчаных, супесчаных и суглинистых почвах. Вид устойчив к засухе, плохо переносит увлажнение и даже легкое затенение.



Рис. 5. Внешний вид монодоминантных фитоценозов под ЛЭП, состоящих из растений мелколепестничека канадского

Fig. 5. External appearance of monodominant phytocenoses under power lines, consisting of *Coniza canadensis* plants

Мелколепестник однолетний (*Erigeron annuus* (L.) Pers.S.L.), входит в список наиболее распространенных чужеродных видов Европы (рис. 6). Инвазивный для Беларуси вид. Наиболее часто встречается по разнообразным пустошным участкам и вдоль дорог, является пионерным растением. Массово распространяется на плохо обрабатываемых пахотных землях и дачных участках. Высокая инвазионность отмечается в прибрежных водных экосистемах. Агрессивный чужеродный вид, внедряющийся обычно в частично нарушенные растительные сообщества, где отсутствует сформированная дернина. Способен проникать в естественные растительные сообщества, где благодаря активному семенному размножению может вытеснять аборигенные виды травянистых растений.



Рис. 6. Растение мелколепестника однолетнего

Fig. 6. *Erigeron annuus* plant

Эхиноцистис лопастной (*Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A. Gray). Включен в список 100 самых опасных инвазивных видов Европы и также в кадастр чужеродных инвазивных видов в Европе DAISIE (*Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe*). В Беларуси внесен в список наиболее агрессивных инвазивных видов, активно внедряющихся в естественные и нарушенные природные сообщества. Активно заселяет свалки, полигоны ТБО, влажные и сырые опушки лесов, заросли кустарников, особенно на поймах, берегах водотоков и водоемов,

обочины дорог, брошенные сады, парки, пустоши. Максимальным количеством популяций характеризуются речные долины, луга на дерновых заболоченных почвах. Встречается в старых торфоразработках, где образует почти моновидовые сообщества диаметром до 150 м, часто подавляя другие виды растений (рис.7). Вид демонстрирует широкий спектр адаптивных реакций, высокие экологическую пластичность и семенную продуктивность, а также устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды [1].



Рис. 7. Популяция эхиноцистиса лопастного

Fig. 7. Population of *Echinocystis lobata*

В Беларуси борщевик Сосновского, золотарник канадский и эхиноцистис лопастной внесены в республиканский список наиболее агрессивных инвазивных видов (Перечень видов растений,

распространение и численность которых подлежат регулированию. Приложение к постановлению Совета Министров Республики Беларусь. 07.12.2016, № 1002).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инвазионный потенциал изученных агрессивных чужеродных видов растений определяется комплексом факторов, обуславливающих их высокую конкурентоспособность в различных экологических условиях (табл.).

Все перечисленные виды чужеродных растений в основном размножаются семенами. Отдельные из них, как например, растения борщевика Сосновского, золотарника канадского и мелколепестника канадского могут сформировать до 100000 жизнеспособных семян, отличающихся высокой полевой всхожестью в течение многих лет. Это позволяет им достаточно легко переносить неблагоприятные периоды и быстро восстанавливать популяции после наступления благоприятных условий. Поэтому стратегия их ограничения должна быть направлена на профилактику их образования и попадания в почву. В случае засоренности почв семенами необходимо предотвратить переход особей в репродуктивную фазу развития, что не произошло образование жизнеспособных семян и пополнения их запасов в почве. При появлении дополнительно вегетативного способа размножения как у золотарника гигантского, инвазионный потенциал возрастает, что хорошо видно по его нарастающей агрессивности на территории Беларуси.

Большое значение в экспансии чужеродных видов имеет способность семян распространяться ветром на большие расстояния. Так семена мелколепестника канадского распространяются в основном (99%) на расстоянии до 100 м от материнского растения, но некоторые до 500 м [12]. Могут подниматься ветром на высоту до 120 м и выше над уровнем моря [13]. В этом случае возможен перенос на сотни километров, что объясняет внезапное появление новых популяций этого вида, на огромных расстояниях от других популяций при нарушении растительного покрова. Особенно такая картина проявляется после применения на участках глифосатсодержащих гербицидов или препаратов на основе сульфометурон-метила кислоты типа Террсан, когда уже на второй год на этих участках наблюдается резкое увеличение численности мелколепестника канадского. Поэтому массовое развитие этого вида часто является индикатором применения на данном участке гербицидов [1].

В этой связи обращает на себя внимание, что для всех представленных в статье инвазивных

видов для проникновения в различные растительные сообщества практически обязательным условием является нарушение их растительного покрова, что в свою очередь тесно коррелирует с влиянием антропогенного фактора.

Несомненно, инвазионный потенциал чужеродных видов резко возрастает во вторичном ареале из-за слабого или полного отсутствия поражения растений болезнями и вредителями. В случае поражения они не наносят критического вреда и эти виды формируют жизнеспособное потомство и большие запасы семян в почве.

Очень важным фактором, определяющим инвазивную активность видов, представленных в табл., является их способность формировать монодоминантные популяции, тем самым подавляя рост и развитие других видов и снижая их биоразнообразие. Так, например, растения мелколепестника канадского образуют популяции с плотностью до 200 и выше растений на 1 м². Как следствие, из существенного снижения притока ФАР в нижние ярусы фитоценозов, другие виды отстают в росте и развитии или погибают.

По отношению к экологическим факторам обращает на себя внимание в первую очередь недотрога мелкоцветковая, которая отличается высокой степенью адаптации к широкому варьированию экологических факторов. На это указывает на широкий диапазон условий, к которым может успешно адаптироваться данный инвазивный вид. Например, по отношению к кислотности почвы этот вид имеет два оптимума – при pH 3,0–4,2 и 5,6–6,4. Высокая генетическая и фенологическая пластичность позволяет популяциям адаптироваться и функционировать как в местах с низкой освещенностью, даже если это приводит к уменьшению биомассы и роста особей [14], так и в хорошо освещенных условиях [15]. Снижение роста наблюдается лишь при освещенности ниже 10% от полного света. При колебании освещенности между 20 и 80% от естественного полного летнего освещения рост недотроги мелкоцветковой меняется незначительно.

Большой вклад в инвазионный потенциал вносит аллелопатическая активность растений. Проведены исследования (рис. 8) по оценке ее влияния на инвазивный потенциал растений с использованием модифицированной методики определения юглонового индекса по L. G. Y. Szabo (1999).

Таблица. Факторы, определяющие уровень инвазионного потенциала некоторых чужеродных агрессивных видов растений Беларуси**Table.** Factors determining the level of invasive potential of some alien invasive plant species in Belarus

Факторы, влияющие на инвазионную активность	Вид растения						
	<i>Борщевик Сосновского</i>	<i>Золотарник канадский</i>	<i>Недотрога мелкоцветковая</i>	<i>Недотрога железнокопная</i>	<i>Мелкопестичек канадский</i>	<i>Мелкопестичек однолетний</i>	<i>Эхиноцистис лопастной</i>
Жизненная форма	гемикриптофит	гемикриптофит	терофит	терофит	терофит	терофит	терофит
Высота растений, м	до 3,0 м	до 2,0 м	0,2–1,0 м	до 3,0 м	до 1,8 м	до 1,0 м	до 10,0 м
Конкуренционная способность	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая
Способ размножения	семенной	семенной	семенной	семенной	семенной	семенной	семенной
Пространственное размещение	групповое, рассеянное	групповое, рассеянное	групповое	групповое	групповое, рассеянное	рассеянное	групповое
Продуктивность, семян / шт. растения	20000 (до 100000)	до 100000	до 10000	до 2500	до 100000	до 100000	до 120
Продуктивность, семян млн. штук / га	200 и более	200 и более	до 30	до 60	200 и более	до 5	до 36
Расстояние рассеивания семян от материнского растения, м	до 4–5	до 2–3 м	до 2–3	до 4–6	до 1000 и более	до 1000 и более	до 10 м
Корневая система	мощная	мощная	средняя	мощная	мощная	мощная	слабая
Поражение болезнями и вредителями во вторичном ареале	слабо, иногда тлей и некоторыми видами жуков	слабо	слабо, иногда грибными болезнями	практически не поражается, иногда тлей	слабо	слабо	слабо
Способность к формированию монодоминантных популяций	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая	средняя	высокая
Нарушенность растительного покрова	необходим слабо нарушенный покров	необходим слабо нарушенный покров	необходим слабо нарушенный покров	необходим слабо нарушенный покров	необходим нарушенный покров	необходим слабо нарушенный покров	необходим нарушенный покров
Способность к внедрению в растительные сообщества	высокая	высокая	высокая	высокая, особенно во влажных местообитаниях	слабая	средняя	высокая, во влажных местообитаниях
Отношение к освещенности	светлолюбив	светлолюбив, затенение переносит плохо	очень высокая лабильность	высокая лабильность	светлолюбив	светлолюбив	светлолюбив
Отношение к кислотности почвы	предпочитает слабощелочную и нейтральную почву	предпочитает нейтральную и слабощелочную почву	очень высокая лабильность, широкий диапазон pH. оптимум 3,0–7,5	высокая лабильность, оптимум pH 4,5–7,7	предпочитает нейтральную почву	предпочитает слабощелочную почву	предпочитает нейтральную почву. не выносит кислых почв

Факторы, влияющие на инвазионную активность	Вид растения						Эхиноцистис лопастной
	Борщевик Сосновского	Золотарник канадский	Недотрога мелкоцветковая	Недотрога железконосная	Мелкопелестничек канадский	Мелкопелестник однолетний	
Отношение к плодородию почвы	предпочитает плодородные почвы	высокая лабильность	высокая лабильность	высокая лабильность	предпочитает низкоплодородные почвы	предпочитает плодородные почвы	предпочитает плодородные почвы
Эдафические требования	предпочитает супеси, легкие и средние суглинки	предпочитает рыхлые, легко прогреваемые почвы: супеси, легкие и средние суглинки	предпочитает суглинистые и супесчаные почвы	предпочитает торфяные и суглинистые почвы	предпочитает песчаные, супесчаные почвы	предпочитает супесчаные, суглинистые почвы	предпочитает рыхлые, легко прогреваемые почвы: супеси, легкие и средние суглинки
Отношение к влажности почвы	предпочитает влажные почвы	влаголюбив, но не переносит застойного переувлажнения	отличается высокой лабильностью	нуждается в относительно высокой влажности	предпочитает низкую влажность	нейтрален	влаголюбив, но не переносит застойного переувлажнения
Симбиоз с микоризой	есть	есть	есть	есть	есть	есть	есть
Необходимость стратификации семян	необходима	необходима	необходима	необходима	не нуждается	не нуждается	необходима
Полевая всхожесть семян	до 11 (15) лет	более 5 лет	3–4 года	3–4 года	до 10 лет и более	3–5 лет	более 1 года
Способ опыления	в основном перекрестное, но возможно и самоопыление	перекрестное, опыляется насекомыми	самоопыление	перекрестное, самоопыление, редко шмелями	перекрестное, самоопыление	перекрестное, самоопыление	в основном перекрестное, опыляется насекомыми, но возможно и самоопыление
Продолжительность цветения в течение вегетационного периода	15–25 дней	32–42 (70) дня	до 20 и более недель (популяция)	до 12 недель (популяция)	около 1 месяца	около 1 месяца	около 40 дней
Продолжительность периода от прорастания до цветения	цветет при оптимальных условиях на 2-й год	цветение наступает на 3-м году жизни	8–9 недель	около 3 месяцев	около 3 месяцев	около 3 месяцев	около 3 месяцев
Скорость роста в начале вегетационного периода	высокая, очень раннее весеннее отрастание	высокая	высокая	относительно высокая	небольшая	небольшая	небольшая
Возможность распространения семян ветром	средняя	высокая	средняя	средняя	высокая	высокая	низкая
Аллелопатическая активность	высокая	высокая	высокая	средняя	высокая	высокая	средняя

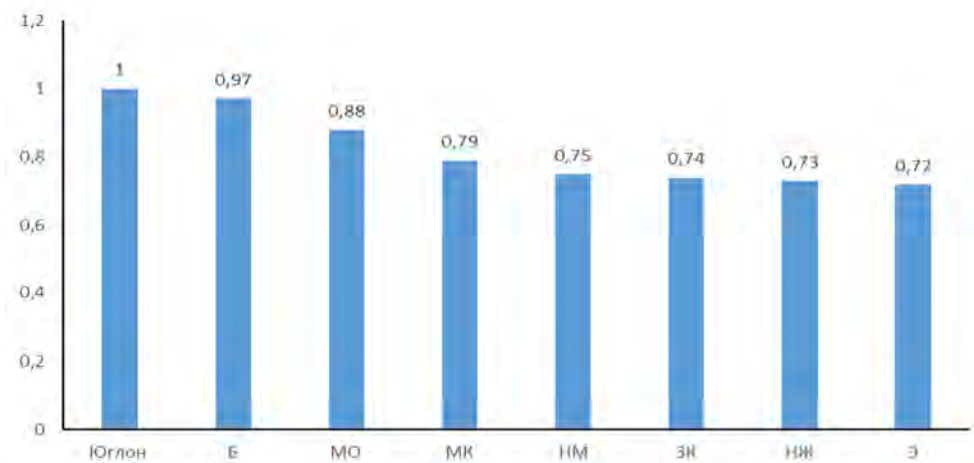


Рис. 8. Юглоновый индекс инвазивных видов растений, находящихся в фазе цветения.

Условные обозначения: Б – борщевик Сосновского, МК – мелколепестничек канадский, МО – мелколепестник однолетний, ЗК – золотарник канадский, НЖ – недотрога железконосная, НМ – недотрога мелкоцветковая, Э – эхиноцистис лопастной

Fig. 8. Juglone index of invasive plant species in the flowering phase.

Legend: Б – *Heracleum sosnowskyi*, МК – *Coniza canadensis*, МО – *Erigeron annuus*, ЗК – *Solidago canadensis*, НЖ – *Impatiens glandulifera*, НМ – *Impatiens parviflora*, Э – *Echinocystis lobata*

Исследование основано на сравнении морфологических показателей проростков и скорости прорастания тест-культур из семян, обработанных химическим веществом юглона (5-гидрокси-1,4-нафталиндион) и экстрактами, полученными из различных видов растений [16].

Установлено, что среди изученных видов наибольший юглоновый индекс имеет борщевик Сосновского, который практически равен индексу экстрактов с чистым юглоном, и составляет 0,97. Меньшие значения по сравнению с борщевиком Сосновского, но высокие значения юглонового индекса имеют растения из рода Мелколепестник, особенно мелколепестник однолетний – МО – 0,88. Несколько ниже значения имеют недотрога мелкоцветковая, недотрога железконосная и золотарник канадский (соответственно 0,75, 0,73, 0,74). Эти результаты указывают на высокую аллелопатическую активность борщевика Сосновского и инвазивных видов из рода Мелколепестник. Полученные значения юглонового индекса в основном тесно коррелируют с инвазионной активностью чужеродных видов растений. В то же время следует отметить, что аллелопатическая активность является лишь одним из факторов, определяющих инвазионный потенциал.

Исходя из ранее сказанного спектр возможных путей ограничения распространения чужеродных видов растений включают проведение ряда мероприятий.

Профилактические мероприятия.

К профилактическим мероприятиям относятся:

- запрет на выращивание инвазивных видов (кроме оговоренных в нормативных правовых актах случаев), включая их использование в благоустройстве и озеленении, сельском и лесном хозяйстве. Замена при возможности другими перспективными хозяйственно полезными видами;
- оценка инвазионного потенциала нового вида при введении его в культуру в процессе интродукционных испытаний;
- мониторинг за динамикой распространения инвазивных и потенциально инвазивных видов с оценкой характера их взаимодействия с видами аборигенной флоры;
- разработка и реализация мер по борьбе с инвазивными видами при проведении ОВОС при строительстве новых объектов.
- разработка планов действий по ограничению распространения и искоренению инвазивных видов растений, особенно на территориях ОППТ;
- исключение распространения инвазивных видов в процессе хозяйственной деятельности, например, путем отказа от использования их в зеленом строительстве в городах, при обустройстве насыпей дорог, газонов, а также почвы, заготавливаемой на землях, где произрастали борщевика и другие инвазивные виды. Использование плодородного слоя почвы, снимаемого со строительных площадок, только при условии проведения экспертизы на содержание в нем жизнеспособных семян борщевика Сосновского. Так использование почвенных грунтов, засоренных се-

менами борщевика Сосновского привело к массовому засорению семенами городских территорий, особенно в новых микрорайонах г. Минска. Поэтому Мингорисполком, для исключения появления новых очагов этого инвазивного вида, решением от 14.10.2010 г. №2399 обязал заказчиков на стадии проектирования определять возможность использования грунта, снимаемых со строительных площадок для озеленения в связи с его заражением семенами борщевика. Благодаря этому своевременному решению площадь территории, засоренной борщевиком Сосновского в г. Минске, сократилась с 242 га в 2011 г. до 14,2 га в 2025 г.

Истребительные мероприятия:

- уничтожение популяций инвазивных растений ручным или механическим способом, а также с использованием светонепроницаемых укрывных материалов на небольших площадях;
- вспашка в сочетании с залужением быстрорастущими многолетними видами злаков, с последующим их регулярным кошением;

- вспашка и дискование ранее загрязненных инвазивными растениями земель с последующим вовлечением таких земельных участков в хозяйственный оборот для выращивания сельскохозяйственных культур, возделываемых по интенсивным технологиям (например, кукуруза);
- залужение выводимых из севооборота сельскохозяйственных земель и неудобий, а также мест выпаса животных с целью профилактики распространения инвазивных растений;
- удаление цветоносов до начала цветения с целью недопущения образования жизнеспособного семенного потомства и пополнения запаса семян в почве;
- применение при больших площадях засорения инвазивными видами, препаратов, внесенных в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь». При расширении ассортимента препаратов, введение дополнений в реестр, а при их наличии в нем, предложений по расширению сферы его действия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье на основе литературных и собственных экспериментальных данных обобщены результаты комплексной оценки инвазионного потенциала агрессивных чужеродных видов растений. Рассмотрены эколого-биологические особенности агрессивных чужеродных видов травянистых растений, определяющие их инвазионный потенциал (борщевик Сосновского, золотарник канадский, недотрога мелкоцветковая, недотрога железконосная, мелколепестничек канадский, мелколепестник однолетний, эхиноцистис лопастной).

Высокая инвазионная активность этих видов обусловлена в первую очередь проявлением таких свойств, как высокая семенная продуктивность растений и всхожесть семян в течение длительного времени, большая лабильность к влия-

нию различных факторов внешней среды, быстрое прорастание семян и интенсивный линейный рост растений в начале онтогенеза, способность формировать плотные моноценозы, высокая аллелопатическая активность. При наличии у вида одновременно нескольких таких свойств, особенно при нарушенном растительном покрове, агрессивность чужеродных растений резко возрастает.

Показано, что комплексная оценка факторов, определяющих уровень инвазионного потенциала растений, является важным моментом в понимании процессов проявления инвазионной активности чужеродных агрессивных видов и позволяет научно обосновать возможные пути ограничения распространения чужеродных видов растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоров, В. Н. Аллелопатический потенциал наиболее агрессивных видов растений Беларуси / В. Н. Прохоров ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2025. – 323 с.
2. Blossey, B. Evolution of increased competitive ability in invasive non-indigenous plants: a hypothesis / B. Blossey, R. Nötzold // Journal of Ecology. – 1995. – Vol. 83, no. 5. – P. 887–889.
3. Ламан, Н. А. Гигантские борщевики – опасные инвазивные виды для природных комплексов и населения Беларуси / Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров, О. М. Масловский ; Ин-т эксперим. ботаники имени В. Ф. Купревича. – Мн. : [б. и.], 2009. – 40 с.
4. Ламан, Н. А. Способы ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков: современное состояние проблемы / Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров // Ботаника: (исследования) : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн. : Право и экономика, 2011. – Вып. 40. – С. 469–489.
5. Прохоров, В. Н. Золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.): биологические особенности, хозяйственное использование и меры ограничения распространения / В. Н. Прохоров, Н. А. Ламан // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2018. – Вып. 47. – С. 150–168.

6. Прохоров, В. Н. Изучение аллелопатической активности инвазионных видов в связи с ограничением их распространения и возможностью использования в хозяйственно-полезных целях / В. Н. Прохоров // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2018. – Вып. 47. – С. 196–209.
7. Прохоров, В. Н. Исследование аллелопатического потенциала адвентивных видов с высокой инвазионной активностью / В. Н. Прохоров // Вестник Фонда фундаментальных исследований. – 2018. – № 3. – С. 75–84.
8. 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, no. 2. – P. 107–115.
9. Enhanced allelopathy and competitive ability of invasive plant *Solidago canadensis* in its introduced range / Y. Yuan, B. Wang, S. Zhang [et al.] // Journal of Plant Ecology. – 2013. – Vol. 6, no. 3. – P. 253–263.
10. Дурнова, Н. А. Биологическая активность и применение в медицине недотроги мелкоцветковой / Н. А. Дурнова, М. А. Березуцкий, А. С. Васина // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 28. – С. 15–16.
11. Golivets, M. Ecological and biological determination of invasion success of non-native plant species in urban woodlands with special regard to short-lived monocarps / M. Golivets // Urban Ecosystems. – 2014. – Vol. 17, no. 1. – P. 291–303.
12. *Conyza canadensis* seed ascent in the lower atmosphere / J. T. Dauer, D. A. Mortensen, E. C. Luschei [et al.] // Agricultural and Forest Meteorology. – 2009. – Vol. 149, no. 3/4. – P. 526–534.
13. Liu, J. Long-distance and dynamic seed dispersal from horseweed (*Conyza canadensis*) / J. Liu, M. Qi, J. Wang // Ecoscience. – 2018. – Vol. 25, no. 3. – P. 271–285.
14. Elemans, M. Light, nutrients and the growth of herbaceous forest species / M. Elemans // Acta Oecologica. – 2004. – Vol. 26, no. 3. – P. 197–202.
15. Dobravolskaite, R. Alien species *Impatiens parviflora* invasion into forest communities of Lithuania / R. Dobravolskaite // Botanica Lithuanica. – 2012. – Vol. 18, no. 1. – P. 3–12.
16. Szabo, L. G. Y. Juglone index – a possibility for expressing allelopathic potential of plant taxa with various life strategies / L. G. Y. Szabo // Acta Botanica Hungarica. – 1999. – Vol. 42, no. 1–4. – P. 295–305.

Поступила в редакцию 22.05.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Прохоров Валерий Николаевич – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник сектора экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Карасева Елена Николаевна – кандидат биологических наук, заведующая сектором экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Коржова Дарья Сергеевна – младший научный сотрудник сектора экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Фролова Татьяна Викторовна – младший научный сотрудник сектора экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Бабков Алексей Владимирович – научный сотрудник сектора экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Сак Михаил Михайлович – научный сотрудник сектора экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Гриц Александр Николаевич – научный сотрудник сектора экологической фитоинвазий Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Судник Алла Федоровна – кандидат биологических наук, ученый секретарь Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси».

Инвазионный потенциал агрессивных чужеродных видов растений Беларуси и пути ограничения их распространения / В. Н. Прохоров, Е. Н. Карасева, Д. С. Коржова [и др.] // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 166–177.

МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ MYCOLOGY AND PHYTOPATHOLOGY

УДК 582. 28

Т. Г. ШАБАШОВА, Д. Б. БЕЛОМЕСЯЦЕВА,
С. А. АЛЕЙНИКОВ, А. В. ПЕНЬКЕВИЧ, В. В. КАРМАНОВА

РАЗВИТИЕ МИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БЕЛАРУСИ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОСТЬ, ПЕРСПЕКТИВЫ (1830–2026 гг.)

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

Аннотация. Статья посвящена историко-библиографическому и современному анализу степени изученности микобиоты Республики Беларусь. Проанализирована динамика развития отечественной микологии начиная с первой сохранившейся профильной публикации 1830 г. по 2026 г. Выделены три ключевых этапа изучения: от накопления первичных данных до современного комплексного эколого-систематического анализа роли грибов в функционировании экосистем. Отмечен вклад ведущих ученых в исследование таксономии, экологии и видового разнообразия микромицетов и базидиомицетов (включая агарикоидные и афиллофороидные грибы). Показано, что к 2026 г. зарегистрированная численность микобиоты Беларуси достигла 4172 видов. Охарактеризовано состояние микологической коллекции Гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK-F).

Ключевые слова: история микологии, видовое разнообразие, гербарий MSK-F, микромицеты, базидиомицеты, агарикоидные и афиллофороидные грибы.

T. G. SHABASHOVA, D. B. BELOMESAYTSEVA,
S. A. ALEINIKAU, A. V. PENKEVICH, V. V. KARMANOVA

THE EVOLUTION OF MYCOLOGICAL RESEARCH IN BELARUS: PAST, PRESENT, AND FUTURE OUTLOOK (1830–2026)

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

Abstract. The paper provides a historical, bibliographic, and contemporary analysis of the state of knowledge regarding the mycobiota of the Republic of Belarus. The developmental dynamics of Belarusian mycology are analyzed from the earliest surviving specialized publication in 1830 up to 2026. Three key research stages are identified, spanning from the accumulation of primary data to the modern comprehensive ecological and systematic analysis of the role of fungi in ecosystem functioning. The contributions of leading scientists to the study of the taxonomy, ecology, and species diversity of micromycetes and basidiomycetes (including agaricoid and aphyllorphoroid fungi) are highlighted. It is shown that by 2026, the recorded richness of the mycobiota of Belarus reached 4,172 species. The current state of the mycological collection within the Herbarium of the Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (MSK-F) is characterized.

Key words: history of mycology, species diversity, MSK-F herbarium, micromycetes, basidiomycetes, agaricoid and aphyllorphoroid fungi.

ВВЕДЕНИЕ

Грибы представляют собой одну из наиболее масштабных, гетерогенных и эволюционно успешных групп эукариотических организмов на планете. Обладая колоссальным адаптивным потенциалом, они повсеместно заселяют гидросферу и литосферу, выступая обязательным ком-

понентом почвенных биоценозов, а также успешно колонизируют самые разнообразные органические и неорганические субстраты. В качестве ключевых редуцентов наземных и водных экосистем грибы выполняют фундаментальную биосферную функцию: благодаря мощному ферментативному аппарату они осуществляют де-

струкцию трудноразлагаемых биополимеров (лигнина, целлюлозы, хитина), замыкая глобальные циклы углерода и других биофильных элементов. Столь высокая экологическая пластичность предопределяет исключительное таксономическое, морфологическое и функциональное разнообразие царства *Fungi*.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужил комплекс научных публикаций, монографий и архивных материалов, а также гербарные фонды микологических коллекций, отражающие историю и современное состояние изучения видового разнообразия грибов на территории Беларуси. Хронологические рамки исследования охватывают период с 1830 г. (момент выхода первой сохранившейся профильной работы) по 2026 г. В анализ включены сведения о следующих таксономиче-

ских и экологических группах микобиоты: микромицеты, базидиомицеты, агарикоидные и афиллофороидные грибы.

Поиск и сбор научной информации осуществляли методом сплошной выборки из фондов крупнейших библиотек и электронных библиографических баз данных. При работе с гербарными коллекциями проводили критический анализ этикеточного материала (хронология, география сборов, авторы коллекций).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что в Беларуси много лесов и грибные ресурсы достаточно велики, флористические исследования грибов проводилось эпизодически без определенной системы.

Первая, дошедшая до нас работа, в которую включены 62 вида болетовых и пластинчатых грибов, и 17 видов микроскопических грибов, найденных на территории Беларуси, принадлежит J. Jundzill (1830) [1], отдельные сборы проводились польскими ботаниками K. Filipowicz и A. Kastory. F. Bloński в своих работах 1888–1889 гг. опубликовал список 119 видов грибов, собранных на территории Беловежской пуши и ее окрестностях [2, 3].

В начале 1900-х гг. российскими микологами А. А. Ячевским, Г. Н. Дорогиным, С. Ю. Шембелем [4–6], Л. А. Лебедевой изучались агариковые и микроскопические грибы – возбудители болезней культурных и дикорастущих растений [7, 8].

В дальнейшем исследования микобиоты в 1920–1940-х гг. касались в основном заболеваний сельскохозяйственных (рис. 1) и лесных культур – Г. И. Нестерчук «Грибы лесного питомника» (1927) [9], Н. А. Дорожкин «Сажа на палях Горацкага раёну» (1927), «Ржавчиновые заболевания на растениях Оршанского округа» (1929), В. Ф. Купревич «Да вывучэння грыбоў» (1929), «Грыбы Смалявицкага раёна (Меншчына)» (1931) и т.д.

В марте 1931 г. постановлением Президиума Белорусской академии наук создан Институт биологических наук, с августа 1931 г. в нем начал свою работу Н. А. Дорожкин, с его приходом была организована лаборатория фитопатологии и ла-

боратория по изучению домового грибка под руководством В. Ф. Купревича. Основные направления проводимых в институте исследований, касались болезней зерновых культур, в частности, исследования ржавчинных и головневых грибов, снежной плесени озимой ржи, заболеваний картофеля, эти исследования отражены в монографиях Н. А. Дорожкина «Болезни зерновых и бобовых культур и способов борьбы с ними» (1935) и «Болезни картофеля и томатов в БССР» (1941), а также В. Ф. Купревича «Определить паразитных грибов по питающим растениям флоры БССР» (1938).

После окончания Второй мировой войны в БССР вышел ряд публикаций, посвященных видовому составу фитопатогенов сельскохозяйственных растений, в частности, статьи Е. Г. Гулецкой (1958) по болезням кукурузы, О. Я. Стрельской (1958) по болезням льна [10, 11].

В середине 1950-х гг. академик В. Ф. Купревич на базе Академии наук БССР создал отдел физиологии и систематики низших растений. Он сформировал новые для республики научные направления, такие как – систематика, таксономия, география, биология и экология высших базидиальных грибов, заложил основы гербария грибов. Созданная им немногочисленная группа научных сотрудников активно набирала материал, систематизировала и изучала видовое и таксономическое разнообразие высших грибов. В 1955 г. подготовлена и защищена диссертационная работа Э. П. Комаровой «Трутовые грибы главнейших лесных пород БССР», в 1965 г. – Г. И. Сержаниной «Съедобные и ядовитые грибы БССР порядка *Agaricales* и их хозяйственное зна-

чение». Э. П. Комарова в своей диссертации привела список 133 трутовых грибов семейства *Polyporaceae*, Г. И. Сержанина провела таксономический анализ 506 видов агариковых грибов, из которых ее собственные сборы составили 384 вида и 192 вида указывались по литературным источникам. Ими опубликованы и первые определители [12, 13].

К этому периоду относятся и первые сборы микромицетов, вошедшие в Гербарий MSK-F (гербарий грибов Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси). Наиболее ранними сборами (1950-е гг.) микромицетов на территории нашей республики, хранящимися в нашем гербарии, являются ржавчинные виды и патогенные анаморфные грибы (родов *Bipolaris*, *Helminthosporium*, *Fusarium* и др.) на различных растениях-хозяевах, включая сборы В. Ф. Купревича и его ученицы М. А. Щербаковой (неопубликованные). Будучи на посту президента Академии наук БССР, В. Ф. Купревич продолжал работать в области фитопатологии и в 1954 г. им опубликована монография «Болезни клевера и люцерны», в которой приведено подробное описание 179 видов паразитных и сапротрофных микромицетов. В 1957 г. совместно с В. Г. Траншелем написана монография «Ржавчиновые грибы СССР» [14].

Предварительный обзор видового разнообразия афиллофороидных грибов Беларуси из 257 видов опубликован А. И. Головко (1968), список включал и 170 видов дереворазрушающих гри-

бов, ранее опубликованных Э. П. Комаровой в своей монографии [15].

А. И. Головко и Э. П. Комарова занимались и исследованиями афиллофороидных грибов на охраняемых территориях, в 1972 г. опубликовали список из 113 видов, собранных в 1962, 1964 и 1969 гг. в Березинском биосферном заповеднике.

Собрание коллекций в Гербариях являются наиболее репрезентативными источниками о видовом составе как флоры, так и микобиоты. К 1970-м гг. гербарий грибов насчитывал более 1000 видов – агариковые грибы (более 650 видов), афиллофоровые (260 видов), микромицеты на сельскохозяйственных растениях – 65 видов, начала развиваться и географическая коллекция гербария, основу которой составили сборы грибов из Закарпатья (25 видов), но видовое разнообразие микобиоты по опубликованным литературным данным было значительно шире – 1200 видов грибов разных систематических групп.

В 1971 г., после смерти В. Ф. Купревича, отдел физиологии и систематики низших растений передан в Институт экспериментальной ботаники АН БССР, и на его основе сформирована лаборатория низших растений, впоследствии переименованная в лабораторию микологии. Руководил лабораторией (1971–1987 гг.) академик Н. А. Дорожкин, который создал первую в республике школу фитопатологии и иммунитета растений, исследовал болезни растений и методы борьбы с ними.



Рис. 1. Разные виды поражений сельскохозяйственных растений

Fig. 1. Different types of damage to agricultural plants

Основные направления исследования микобиоты в это время были сосредоточены на изучении патогенов сельскохозяйственных растений и разработке мер борьбы с ними. Результаты этих исследований нашли свое отражение в таких работах, как – «Болезни люпина» Н. А. Дорожкин, Н. И. Чекалинская (1965); «Хваробы дзікарослых бабовых раслін у Беларусі» Н. А. Дорожкин, Н. И. Чекалинская, В. И. Нитиевская (1977), монография этих же авторов «Болезни бобовых культур в БССР» (1978); статья «Грибы рода *Stemphylium* Wallr. на бобовых культурах» (1982); «Патогенные грибы на бобовых травах в Белоруссии» Н. А. Дорожкин, В. И. Нитиевская (1990) [16].

Большинство образцов фитопатогенных грибов было собрано и идентифицировано В. И. Нитиевской, Н. И. Чекалинской и В. М. Корней. Коллекция содержала более 200 видов грибов, относящихся к родам *Peronospora*, *Mucor*, *Erysiphe*, *Golovinomyces*, *Microsphaera*, *Leptosphaerulina*, *Pleospora*, *Cymadothea*, *Chaetomium*, *Polythrincium*, *Sphaerulina*, *Sclerotinia*, *Pseudopeziza*, *Puccinia*, *Uromyces*, *Typhula*. Анаморфные грибы представлены родами *Alternaria*, *Botrytis*, *Cercospora*, *Cladosporium*, *Coniothyrium*, *Cylindrocarpum*, *Ramularia*, *Fusarium*, *Stemphylium*, *Ascochyta*, *Kabatella*, *Pestalotia*, *Phoma*, *Septoria*, *Sporonema*, *Stagonospora*. Основные питающие растения – клевер, люцерна, эспарцет, донник и лядвенец. Наиболее ранние образцы относятся к началу 1960-х гг., и работа по сбору данной части гербария продолжалась вплоть до начала 2000-х гг. Многим гербарным образцам соответствуют штаммы в коллекции чистых культур, в том числе изоляты из ризосферы бобовых трав.

Микромицеты, развивающиеся на картофеле (14 видов), представлены в монографии «Болезни картофеля» Н. А. Дорожкин, С. И. Бельская (1979); статье «Грибы рода *Fusarium* на картофеле в Белоруссии» Н. А. Дорожкин, В. И. Билай, С. И. Бельская, И. А. Элланская, Т. П. Алексеева, Л. М. Новикова (1984) и др. [17, 18].

Вторым значительным направлением в изучении микромицетов, стали исследования по лесной фитопатологии начатые Н. И. Федоровым в Белорусском технологическом институте (университете, БГТУ), они продолжены в лаборатории низших растений В. Н. Федоровым, он изучал микобиоту интродуцированных древесных растений (1978), в своей диссертации он дал характеристику 26 видам патогенных грибов на 27 видах хвойных породах и разработал меры борьбы с ними, особое внимание уделил исследованию корневой губки.

Исследуя болезни семян хвойных пород, В. И. Корзенюк выявил ряд новых для нашей рес-

публики видов грибов (1990, 1991). В работе американского миколога Т. R. Nag Raj «Coelomycetous anamorphs with appendage-bearing conidia» (1993) опубликована новая комбинация *Pestalotiopsis stevensonii* (Peck) Nag Raj со ссылкой на В. И. Корзенюк, обнаружившего этот гриб на отмершей хвое сеянцев сосны в Беларуси (ранее вид считался сугубо североамериканским). Также В. И. Корзенюком впервые описан род *Acarosporium* на хвойных. Всего список идентифицированных им микромицетов на сеянцах содержал 46 видов, из них 39 – в анаморфной стадии.

Параллельно исследованиям в области фитопатологии продолжены работы по изучению видового разнообразия высших базидиальных грибов. А. И. Головкин (1978) в своей диссертационной работе «Экспериментальное изучение ложных трутовиков Белоруссии (*Phellinus ignarius*-группа)» представила карты распространения семи наиболее вредоносных видов рода *Phellinus*, ею подробно изучены макро- и микропризнаки и степень поражения ими основных лесобразующих пород (рис. 2).

В 1958–1960 гг. А. И. Кустова опубликовала ряд работ по микобиоте растений центрального ботанического сада. Значительный вклад в изучение патогенной микрофлоры внесла С. В. Горленко, которой совместно с Н. А. Панько подготовлены монографии «Вредители и болезни интродуцированных растений» (1967) и «Формирование микрофлоры и энтомофауны городских зеленых насаждений» (1972) [19, 20]. С. В. Горленко написала фундаментальный «Определитель болезней цветочно-декоративных растений» (1969) [21], а темой ее докторской диссертации стало «Формирование микрофлоры интродуцированных растений» (1974), в которой она представила результаты изучения видового состава и происхождения патогенных грибов интродуцированных древесных и травянистых растений, и привела данные о 300 видах грибов.

Патогенные микромицеты роз и брусники изучены Н. А. Галынской (1996, 1999). В. К. Горовец опубликовал данные по распространению рода *Cercospora* в Белоруссии (1972) и небольшую заметку по пятнистостям сложноцветных растений (1975).

Эти работы были продолжены и развиваются и сейчас в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси в лаборатории защиты растений ЦБС под руководством Л. А. Головкин. Результаты проведенных исследований обобщены в таких публикациях, как «Болезни и вредители декоративных растений в насаждениях Беларуси» (2014), «Малоизвестные болезни хвои сосны в Республике Беларусь» (2025) и др.



Рис. 2. Сбор материала сотрудниками лаборатории низших растений (1980-е гг.)

Fig. 2. Collection of material by staff of the Laboratory of Lower Plants (1980s)

Касаясь фитопатогенных видов анаморфных грибов следует упомянуть исследования сотрудников Института защиты растений. В лаборатории сельскохозяйственной фитопатологии с момента ее организации в 1971 г., основной темой являются болезни зерновых культур. Несколько крупных монографий, таких как «Вредители и болезни зерновых культур и меры борьбы с ними» (В. Ф. Саммерсов, С. Ф. Буга, 1978), «Интегрированная система защиты ячменя от болезней» (С. Ф. Буга, 1990) и диссертация «Биологическое обоснование защитных мероприятий против комплекса болезней озимого тритикале» (А. Г. Жуковский, 2008) затрагивали вопросы видового состава патогенов зерновых, в том числе биологию и вредоносность ряда анаморфных гимномицетов, в частности, *Bipolaris sorokiniana*.

Исследованиями грибов порядка *Erysiphales* активно занимались сотрудники кафедры ботаники Белорусского государственного университета (БГУ): З. Н. Кудряшева, А. И. Стефанович, А. С. Шуканов, И. С. Гирилович. Обобщенные данные о 87 грибах мучнистой росы, собранные на территории Беларуси, депонированы в ВИНТИ. Наиболее полное исследование этих грибов в Беларуси проведено И. С. Гириловичем в его кандидатской

диссертации (1991) [22]. Всего в рукописи перечислено 89 видов *Erysiphales*, из которых впервые для республики было зарегистрировано 8 видов. Морфологические описания видов помещены в приложение к диссертации. В 2018 г. он подытожил многолетние исследования мучнисторосяных грибов в Беларуси в своей монографии «Мучнисторосяные грибы (порядок *Erysiphales*) в Беларуси», в которой он привел описания 127 видов и вариаций разновидностей грибов этого порядка на 860 видах питающих растений.

Исследования видового разнообразия агариковых грибов были продолжены в 1970–1980 гг. О. С. Гапиенко, которая в своей диссертационной работе «Макромицеты дубовых лесов Белоруссии и их роль в процессах минерализации растительных остатков» привела данные о 224 видах сапротрофных и микоризообразующих грибов из 94 родов (1985).

В 1994 г. Г. И. Сержанина в своей монографии «Базидиальные грибы Беларуси: Балетальные, Агарикальные, Русуляльные» дала описания 983 видов макромицетов из 105 родов, т.о. микобиота Беларуси к 1990-м гг. включала более 1600 видов агариковых, трутовых и микроскопических грибов.

После 1990-х гг. исследование грибов было сосредоточено на изучении отдельных групп – кортициоидные (Е. О. Юрченко) [23], руссуляльные (Я. А. Шапорова) [24, 25], болетовые грибы (С. В. Давыдко), афиллофороидные грибы (Н. Г. Кордияко), микромицеты, связанные в своем развитии с основными хвойными породами – *Pinus sylvestris*, а также с сопутствующими ей породами – *Picea abies* и *Juniperus communis* (Д. Б. Беломесяцева) [26], микромицеты лиственных пород и лекарственных растений (Т. Г. Шабашова и С. И. Кориняк) [27, 28], а также на изучении разнообразия грибов на особо охраняемых территориях.

Под руководством заведующей лабораторией микологии О. С. Гапиенко, начали развиваться новые направления, в том числе изучение грибов-биодеструкторов в жилых и промышленных помещениях, на архивных материалах. Значительно расширился спектр изучаемых почвенных грибов, уже не только обитателей ризосферы сельскохозяйственных растений, но и лесных почв.

В 2006 г. О. С. Гапиенко с коллективом лаборатории микологии подготовлена первая в отечественная сводка по грибам Беларуси, хранящимся в гербарии и коллекции чистых культур Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси, в которую вошло 2306 видов грибов разных систематических групп, т.о. общее количество видов, включая литературные данные составило порядка 2900 видов [29].

Лабораторией микологии проведен комплексный анализ состояния микобиоты лесов Белорусской гряды, Национальных парков «Припятский», «Нарочанский», «Браславские озера» и «Беловежская пуща» [30–33]. Обобщены и уточнены флористические, таксономические и номенклатурные данные о грибах и лишайниках, что позволило показать тесную консортивную связь флористического состава сообщества и микобиоты.

Начиная с 2000-х гг. особое внимание микологов и фитопатологов сосредоточено на проблеме заболеваний растений, вызываемых инвазивными организмами.

Исторически сложившийся в Беларуси фитопатогенный комплекс пополняется видами, чужеродными для нашей микобиоты. Некоторые виды инвазивных патогенов уже регистрируются на территории Беларуси (например, *Chalara fraxinea*, *Mycosphaerella dearnessii*), другие отмечены в сопредельных странах (*Ophiostoma penicillatum*), есть виды, распространенные в дальнем зарубежье, но ареал которых стремительно расширяется и может достигнуть границ

республики в самом недалеком будущем (*Phytophthora ramorum*).

Крупнейшими научными центрами, в настоящее время изучающими инвазивную микобиоту Беларуси, являются Белорусский государственный университет (кафедра ботаники), Белорусский технологический университет (кафедра лесозащиты и древесиноведения), Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (лаборатория микологии) и Центральный ботанический сад НАН Беларуси (лаборатория защиты растений). Молекулярно-генетические исследования фитопатогенов проводят Институт леса НАН Беларуси и Институт генетики и цитологии НАН Беларуси.

Наиболее широкий спектр исследований в этой области осуществляется в БГУ, за последние годы ими выявлено около 100 чужеродных видов сосудистых растений, которые являются новыми для Беларуси, а также 266 вида [34] и внутривидовых таксона чужеродных для Беларуси фитопатогенных микромицетов.

Сотрудники ЦБС особое внимание уделяют выявлению инвазивных возбудителей болезней декоративных растений в ботанических садах и парковых насаждениях Беларуси, в частности недавно ими выявлен новый инвазивный вид на сосне горной.

В Институте экспериментальной ботаники вопросами инвазий фитопатогенных грибов занимаются с 2011 г. Научно-исследовательские работы в данном направлении ведутся в тесном сотрудничестве с БГТУ и Государственным учреждением по защите и мониторингу леса «Беллесозащита» [35].

В результате проведенных исследований установлено, что на территории лесхозов в Беларуси на аборигенных хвойных породах развивается 12 инвазивных видов фитопатогенных организмов, на лиственных породах – 13 видов, а на декоративных растениях-интродуцентах в дендрариях – 54 вида. Большинство инвайдеров, наиболее вероятно проникло на территорию республики расширяя свой вторичный ареал из центров непреднамеренной интродукции в странах Европы.

Наиболее значительные труды по лесной фитопатологии в Беларуси принадлежат представителям школы Н. И. Федорова (Белорусский государственный технологический университет). Монография Н. И. Федорова «Корневые гнили хвойных пород» (1984), затрагивала не только вопросы развития корневой губки, но и сопутствующих грибных инфекций. В учебнике «Лесная фитопатология» (2004) им рассматривается широкий круг анаморфных грибов, поражающих семена, и вызывающих болезни сеянцев, подроб-

но освещена проблема плесневых поражений древесины, вызываемых анаморфными грибами. В монографии «Особенности формирования еловых лесов Беларуси в связи с их периодическим усыханием» Н. И. Федоровым проведен (совместно с В. В. Сарнацким) анализ абиотических и антропогенных факторов, влияющих на развитие гнилей и раковых заболеваний ели обыкновенной, включая комплекс анаморфных грибов.

Над проблемами патологии хвойных работали также многие ученики Н. И. Федорова. Среди трудов, которые касаются анаморфных фитопатогенов, следует упомянуть статьи Н. П. Ковбасы (1987), В. А. Ярмолевича (2000, 2010 гг.) и В. Б. Звягинцева (2006, 2014 гг.). Специалистами кафедры лесозащиты и древесиноведения БГТУ (В. Б. Звягинцев, 2010) выявлен инвазивный вид темноокрашенного гифомицета *Chalara fraxinea*, паразитирующий на ясене обыкновенном (*Fraxinus excelsior*). Ряд исследований проводили совместно коллективы БГТУ и Института леса НАН Беларуси, среди опубликованных результатов можно отметить статьи «Молекулярно-генетический анализ локусов рДНК основных патогенов лесных древесных пород Беларуси» (2012) и «Метагеномный анализ смешанных инфекций посадочного материала в лесных питомниках» (2014).

Большой вклад в изучение анаморфных грибов вносят исследования сотрудников кафедры ботаники Белорусского государственного университета. В. Д. Поликсенова, в соавторстве с В. С. Кобзаровой и С. И. Кориняком, опубликовала 41 вид анаморфных грибов на лекарственных растениях (2000). И. С. Гирилович с соавторами описал более 20 видов, развивающихся на сосудистых растениях в Лошицком парке (2002). Анаморфные грибы вошли также в коллективный труд кафедры «Таксономическое разнообразие высших растений и фитопатогенных грибов центральной части Минской возвышенности» (2006). А. К. Храмцов всесторонне исследовал биологию рода *Botrytis* (2004, 2006 гг.) и видовой состав микромицетов, паразитирующих на листьях тополей (2005), в НП «Нарочанский» им выявлено 67 видов анаморфных грибов, в том числе инвазивные виды (2014).

На кафедре ботаники БГУ также изучали биоразнообразие анаморфных водных грибов, А. И. Стефанович и В. В. Голубков в 1976 г. опубликовали первые сведения о водных гифомицетах Минского района. В дальнейшем этой группой грибов весьма успешно занимался В. И. Гулис, в своей работе «Водные гифомицеты Белорусской гряды и сопредельных территорий (видовой состав, особенности экологии,

антибиотическая активность)» (1999) он приводит диагнозы и ключи для определения 50 видов водных гифомицетов. Им опубликован ряд статей по экологии водных гифомицетов и описаны новые виды (1999, 2001 гг.).

Коллекция грибов и грибоподобных организмов Гербария БГУ (MSKU-F) на сегодняшний день включает 19010 гербарных листов и представлена почти 800 видами, которые распределены по следующим отделам: *Ascomycota* (включая формальный отдел *Deuteromycota*), *Basidiomycota*, *Chytridiomycota* царства *Fungi* и отдел *Oomycota* царства *Chromista*. В основном (98%) это фитопатогенные виды микромицетов, вызывающие пятнистости, увядания и др. фитопатологии растений-хозяев.

На материале Гербария БГУ, в рамках выполнения кандидатской диссертации аспирантом И. А. Федюшко, охарактеризованы фитопатогенные пикнидиальные септориоподобные микромицеты Беларуси. В коллекции группа представлена 143 видами, подтвержденные гербарными сборами, из которых 80 видов впервые выявлены на территории Беларуси. Из общего числа инвайдеров микологической коллекции Гербария БГУ (MSKU-F) (266 видов) для Беларуси установлено наличие 108 новых видов чужеродных фитопатогенных микромицетов [35].

В лаборатории микологии Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси с 2018 г. проводятся комплексные исследования микобиоты Антарктиды. С применением классических культуральных и молекулярно-генетических подходов изучены образцы субстратов природного и искусственного происхождения, отобранные в окрестностях и служебно-жилых модулях российских антарктических станций «Прогресс», «Новолазаревская», «Мирный», а также белорусской станции «Гора Вечерняя». В ходе работы освоены и адаптированы методики молекулярной биологии для идентификации экстремофильных грибов.

По результатам исследований из антарктических субстратов выделено и идентифицировано 53 вида микромицетов, относящихся к 27 родам и 3 отделам. Проведён детальный анализ таксономической структуры микобиоты. Ведущие порядки микромицетов: *Eurotiales*, *Hypocreales* и *Pleosporales*. Отмечено преобладание микромицетов из родов *Penicillium*, *Cladosporium*, *Pseudogymnoascus*. В результате изучения особенностей роста микромицетов в различных температурных условиях установлено, что для антарктической микобиоты характерно преобладание психротолерантных (психротрофных) микромицетов [36].

При обследовании служебно-жилых модулей белорусской станции «Гора Вечерняя» выявлен комплекс микромицетов, принадлежащих к отделу *Ascomycota*, большинство из которых представлено видами с конидиальным спороношением. Впервые для Антарктиды отмечен микроскопический гриб *Orbicula parietina*, выделенный из проб пыли служебно-жилых модулей. Некоторые из обнаруженных видов – *Geotrichum candidum*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides* являются условно-патогенными. Исследования микобиоты модулей проводятся ежегодно в динамике, что позволяет отслеживать смену доминирующих видов и накопление потенциально патогенных грибов. Регулярный микологический мониторинг служебно-жилых помещений является важной составляющей системы биологической безопасности антарктических станций. Полученные данные служат основой для разработки и своевременной корректировки превентивных мер (санитарно-гигиенических, профилактических, технических), направленных на снижение микробной нагрузки и минимизацию рисков для здоровья человека. Это, в свою очередь, способствует улучшению качества жизни и условий профессиональной деятельности человека в экстремальных антарктических условиях.

В рамках работы проводится оценка влияния антропогенной нагрузки в районах расположения антарктических станций на микобиоту мате-

рика. Показано, что деятельность человека приводит к изменению таксономического состава и структуры сообществ микромицетов. Выявлены различия в видовом богатстве и частоте встречаемости микромицетов на субстратах природного и искусственного происхождения.

Дальнейшее изучение разнообразия микромицетов Антарктиды позволит раскрыть особенности адаптационных механизмов у эукариотических организмов к экстремальным факторам среды, а также расширить представление о роли грибов в экстремальных экосистемах.

Таким образом, к 2026 г. зарегистрированная численность микобиоты Беларуси значительно увеличилась и на данный момент составляет порядка 4172 видов, в гербарии Института экспериментальной ботаники находится на хранении 3372 вида грибов разных систематических групп (25 070 образцов).

Исследование видового разнообразия грибов в условиях климатических изменений является важным для понимания процессов, происходящих в естественных биоценозах, прогнозирования сценариев дальнейшего развития экологической ситуации, определения угроз и мер охраны видового разнообразия микобиоты, т.к. некоторые виды грибов (32 вида) внесены в Красную книгу Республики Беларусь (2025) и необходим постоянный мониторинг не только за их состоянием, но, в большей степени, за их местообитаниями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение биоразнообразия отдельных территорий является одним из приоритетных направлений в области экологии и охраны природы. На рассмотрении Конвенции ООН о биологическом разнообразии на заседании COP16 в Колумбии в 2024 г., грибам, включая дрожжи и лишайники, предложено повысить их статус в охранных мерах. Внесение изменений в законодательство, политику и международные соглашения направлено на усиление мер по защите грибов и признание их важности для экосистем и человечества, особенно в условиях экологического кризиса, включающего изменение климата, утрату биоразнообразия и загрязнение.

В процессе изучения микобиоты нашей страны можно выделить несколько этапов.

Начальный, это процесс накопления информации о видах, в основном фитопатогенных, данные о которых представлены только в литературных источниках.

Второй этап – после 1950-х гг., когда параллельно с флористическими исследованиями видового состава грибов, разных систематических групп рассматривались вопросы экологии отдельных видов, их филогенетические и эволюционные связи, начался период активной гербаризации образцов грибов.

Третий этап – комплексное изучение видового разнообразия грибов различных систематических групп с целью выяснения роли грибов в функционировании экосистем, в поддержании собственно их биологического разнообразия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jundziłł, J. Opisanie roślin w Litwie, na Wołyniu, Podolu i Ukrainie dziko rosnących, iako i oswoionych / J. Jundziłł. – Wilno, 1830. – 568 p.
2. Błoński, F. Spis roślin skrytokwiatowych zebranych w r. 1887 w puszczy Białowieskiej / F. Błoński // Pamiętnik fizyograficzny. Dział 3, Botanika. – 1888. – T. 8, no. 3. – P. 75–119.
3. Błoński, F. Spis roślin zarodnikowych zebranych lub zanotowanych w lecie w r. 1888 w puszczach: Białowieskiej, Świsłockiej i Ładzkiej / F. Błoński // Pamiętnik fizyograficzny. – 1889. – T. 9, [dz. 3 : Botanika i zoologija]. – P. 63–101.

4. Ячевский, А. А. Ежегодник сведений о болезнях и повреждениях культурных и дикорастущих полезных растений : 3 год – 1907 / сост. А. А. Ячевский ; Г. У. З. и З., Департамент Земледелия, Бюро по микологии и фитопатологии Ученого Комитета. – СПб. : Первая Женская Типография Т-ва «Печатного Станка», 1908. – 206 с.
5. Дорогин, Г. Н. Отчет о командировке Г. Н. Дорогина в Беловежскую пушу осенью 1910 г. / Г. Н. Дорогин // Ежегодник сведений о болезнях и повреждениях культурных и полезных дикорастущих растений / Бюро по микологии и фитопатологии Ученого Комитета. – СПб., 1912. – Вып. 6. – С. 425–439.
6. Шембель, С. Материалы к микологической флоре Минской губернии / С. Шембель // Труды Бюро по прикладной ботанике. – СПб., 1913. – Вып. 6. – С. 697–709.
7. Лебедева, Л. А. Первый список грибов и миксомицетов Белоруссии / Л. А. Лебедева // Записки Белорусского Государственного Института Сельского и Лесного Хозяйства в память Октябрьской Революции. – Мн., 1925. – Вып. 4. – С. 35–40.
8. Лебедева, Л. А. Второй список грибов и миксомицетов Белоруссии / Л. А. Лебедева // Труды Минской ботанической станции. – Мн., 1925. – Вып. 10. – С. 11–42.
9. Несыярчук, Г. І. Сьпіс грыбоў, знойдзеных у лясным гадавальніку Бел. Цэнт. Лясн. Дасьл. Станцыі пры Бел. Дзяржаўнай Акадэміі С.-Г. ў 1926 годзе / Г. І. Несыярчук // Запіскі Беларускай Дзяржаўнай Акадэміі Сельскае Гаспадаркі імя Кастрычнікавай Рэвалюцыі. – Мн., 1927. – Вып. 5. – С. 132–138.
10. Гулецкая, Е. Г. Главнейшие болезни кукурузы в условиях БССР / Е. Г. Гулецкая // Болезни сельскохозяйственных культур БССР : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т. – Мн. : Изд-во БГУ, 1958. – С. 75–91.
11. Стрельская, О. Я. Биология возбудителя антракноза льна (*Colletotrichum lini* Bol.) в условиях БССР / О. Я. Стрельская // Болезни сельскохозяйственных культур БССР : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т им. В. И. Ленина. – Мн. : Изд-во БГУ, 1958. – С. 55–74.
12. Комарова, Э. П. Определитель трутовых грибов БССР / Э. П. Комарова ; Акад. наук БССР, Ин-т эксперим. ботаники и микробиологии. – Мн. : Наука и техника, 1964. – 341 с.
13. Сержанина, Г. И. Съедобные и ядовитые грибы : определитель / Г. И. Сержанина ; под ред. В. Ф. Купревича ; Ин-т эксперим. ботаники и микробиологии АН БССР. – Мн. : Наука и техника, 1964. – 405 с.
14. Купревич, В. Ф. Ржавчинные грибы. Сем. Мелампсоровые / В. Ф. Купревич, В. Г. Траншель ; Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова АН СССР. – Л. : Изд-во АН СССР, 1957. – 419 с. : ил., табл. – (Флора споровых растений СССР ; т. 4. Грибы ; вып. 1).
15. Головкин, А. И. Обзор афиллофоровых грибов Белоруссии / А. И. Головкин // Материалы V симпозиума по вопросам исследования мико- и лишайной флоры Прибалтийских республик, Вильнюс, 24–28 сент. 1968 г. / Ин-т ботаники АН Литовской ССР. – Вильнюс : АН Литовской ССР, 1968. – С. 31–36.
16. Дорожкин, Н. А. Болезни бобовых культур в БССР / Н. А. Дорожкин, Н. И. Чекалинская, В. И. Нитиевская. – Мн. : Наука и техника, 1978. – 192 с.
17. Дорожкин, Н. А. Болезни картофеля / Н. А. Дорожкин, С. И. Бельская. – Мн. : Наука и техника, 1979. – 247 с.
18. Грибы рода *Fusarium* на картофеле в Белоруссии / Н. А. Дорожкин, В. И. Билай, С. И. Бельская [и др.] // Микология и фитопатология. – 1984. – Т. 18, вып. 4. – С. 326–330.
19. Горленко, С. В. Вредители и болезни интродуцированных растений / С. В. Горленко, Н. А. Панько. – Мн. : Наука и техника, 1967. – 136 с.
20. Горленко, С. В. Формирование микофлоры и энтомофауны городских зеленых насаждений / С. В. Горленко, Н. А. Панько. – Мн. : Наука и техника, 1972. – 168 с.
21. Горленко, С. В. Определитель болезней цветочно-декоративных растений / С. В. Горленко. – Мн. : Урожай, 1969. – 159 с.
22. Гирилович, И. С. Мучнисторосяные грибы (порядок *Erysiphales*) Беларуси : [монография] / И. С. Гирилович ; Белорус. гос. ун-т. – Мн. : БГУ, 2018. – 279 с.
23. Юрчанка, Я. А. Грибы рода *Peniophora* (*Basidiomycota*) центральной і ўсходняй Еўропы: марфалогія, таксаномія, экалогія, распаўсюджанне / Я. А. Юрчанка ; Нац. акад. навук Беларусі, Ін-т эксперым. батанікі імя В. Ф. Купрэвіча. – Мн. : Беларуская навука, 2010. – 270 с.
24. Шапорова, Я. А. Руссуляльные грибы Беларуси: *Lactarius* и *Russula* (млечники и сыроежки) / Я. А. Шапорова ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2007. – 275 с.
25. Флора Беларуси. Грибы. В 7 т. Т. 1. *Boletales*. *Amanitales*. *Russulales* / О. С. Гапиенко, Я. А. Шапорова ; под ред. В. И. Парфенова ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2012. – 199 с.
26. Беломесяцева, Д. Б. Микобиота в консорции можжевельника в Беларуси / Д. Б. Беломесяцева ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Изд-во БГУ, 2004. – 235 с.
27. 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 ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2015. – 162 с.
28. Кориняк, С. И. Атлас болезней культивируемых лекарственных растений, вызываемых анаморфными грибами / С. И. Кориняк ; Центральный бот. сад НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2010. – 50 с.
29. Макромицеты, микромицеты и лишенизированные грибы Беларуси. Гербарий Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича (MSK-F, MSK-L) / О. С. Гапиенко, Д. Б. Беломесяцева, Н. Н. Кобзарь [и др.] ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2006. – 501 с.

30. Микобиота Национального парка «Припятский» / О. С. Гапиенко, Д. Б. Беломесяцева, Я. А. Шапорова [и др.] ; науч. ред. В. И. Парфенов ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : БГПУ, 2012. – 245 с.
31. Микобиота Белорусско-Валдайского Поозерья / Е. С. Попов, А. Е. Коваленко, О. С. Гапиенко [и др.] ; отв. ред. А. Е. Коваленко ; Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова РАН, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – М. ; СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 399 с.
32. Биологическое разнообразие Национального парка «Браславские озера»: грибы и лишайники / О. С. Гапиенко, Д. Б. Беломесяцева, А. П. Яцына [и др.] ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Белорусский Дом печати, 2014. – 200 с.
33. Атлас-определитель ксилотрофных грибов, кустистых и листоватых лишайников Национального парка «Беловежская пуца» / Т. Г. Шабашова, А. П. Яцына, Е. О. Юрченко [и др.] ; Нац. парк «Беловежская пуца». – Брест : Альтернатива, 2016. – 248 с.
34. Федюшко, И. А. Определитель фитопатогенных пикнидиальных септориоподобных микромицетов Беларуси / И. А. Федюшко. – Мн. : БГУ, 2025. – 525 с. Деп. в БГУ 23.12.2025, № 017323122025 (<https://elib.bsu.by/handle/123456789/339339>).
35. Атлас болезней лесных пород Беларуси / О. С. Гапиенко, Д. Б. Беломесяцева, В. Б. Звягинцев [и др.] ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Лесное и охотничье хозяйство, 2011. – 160 с.
36. Видовой состав микромицетов станций «Прогресс», «Новолазаревская», «Гора Вечерняя» (Восточная Антарктида) / В. В. Карманова, Т. Г. Шабашова, Ю. Г. Гигиняк, М. Г. Синявская // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 114–123.

Поступила в редакцию 12.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шабашова Татьяна Гарьевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Беломесяцева Дарья Борисовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Алейников Сергей Андреевич – научный сотрудник лаборатории микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Пенькевич Ангелина Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Карманова Вероника Вадимовна – научный сотрудник лаборатории микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Развитие микологических исследований в Беларуси: история, современность, перспективы (1830–2026 гг.) / Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева, С. А. Алейников [и др.] // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 178–187.

УДК 582.29

А. П. ЯЦЫНА, А. П. СВИРИД

ЛИХЕНОБИОТА БЕЛАРУСИ: ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, КОЛЛЕКЦИОННЫЕ ФОНДЫ И ВЕКТОРЫ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: lihenologs84@mail.ru*

Аннотация. В обзорной статье охарактеризованы ключевые научные фонды, содержащие гербарные коллекции белорусской лишенобиоты, представлена ее таксономическая структура. Особое внимание уделено результатам инвентаризации лишайников в коренных типах растительности – хвойных лесах и дубравах, для которых установлен видовой состав лишайников и близкородственных грибов, выявлены фундаментальные закономерности ее формирования. Отражены современные направления исследований, включая планомерное изучение состава вторичных метаболитов лишайников. Проанализирована специфика лишенобиоты особо охраняемых природных территорий (национальных парков). Рассмотрен актуальный природоохранный статус таксонов в контексте существенных изменений, внесенных в основной список Красной книги Республики Беларусь и приложения к ней.

Ключевые слова: лишенобиота, коллекции, таксономический состав, хвойные леса, дубравы, тонкослойная хроматография, национальные парки, Беларусь.

A. P. YATSYNA, A. P. SVIRID

LICHENOBIOTA OF BELARUS: TAXONOMIC STRUCTURE, COLLECTION FUNDS AND VECTORS OF MODERN RESEARCH

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: lihenologs84@mail.ru*

Abstract. This review paper characterizes the key scientific repositories holding herbarium collections of Belarusian lichenobiota, its taxonomic structure is presented. Special attention is paid to the results of lichen inventories in pristine phytocenoses – coniferous and oak forests – for which the species composition of the lichens and allied fungi has been established and the fundamental patterns of its formation have been identified. Current research trends are reflected, including the systematic study of the composition of lichen secondary metabolites. The specific features of lichenobiota in specially protected natural areas (national parks) are analyzed. Furthermore, the current conservation status of taxa is reviewed in the context of significant amendments made to the main list and appendices of the Red Data Book of the Republic of Belarus.

Keywords: lichen biota, collections, taxonomic composition, coniferous forests, oak groves, thin-layer chromatography, national parks, Belarus.

ВВЕДЕНИЕ

Биологическое разнообразие любых таксономических групп живых организмов служит основой, определяющей стабильность, устойчивость и целостность экосистем. Исключительное значение биологического разнообразия, необходимость его всестороннего изучения и охраны закреплены Международной Конвенцией ООН о биологическом разнообразии, а также Национальной стратегией и планом действий в рамках программы «Биоразнообразие» Республики Беларусь. При этом состояние изученности биоты во

многим зависит от флористических и микологических исследований отдельно взятых природных территорий. На сегодняшний день сведения по многим регионам страны носят фрагментарный характер, требуют дальнейшей ревизии и обновления данных о видовом составе. В связи с этим весьма актуальными становятся обобщающие аналитические работы, которые дают необходимую теоретическую и практическую базу для важных научных обобщений и прогнозирования динамики развития экологической ситуации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инвентаризация гербарных фондов представляет высокую научную ценность и заслуживает особого внимания. Полноценное изучение лишенобиоты особо охраняемых природных территорий, естественных и антропогенных фитоценозов, а также ключевых лесных формаций неосуществимо без планомерного депонирования и ревизии гербарного материала как в отечественные, так и в зарубежные коллекции.

На территории страны белорусские образцы содержатся в следующих основных коллекциях лишайников: Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK-L), Центральной ботанический сад НАН Беларуси (MSKH), Березинский биосферный заповедник, д. Домжерицы (DMR), кроме того, представлены в гербариях некоторых ВУЗов страны: Белорусский государственный университет (MSKU), Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины (GMU), Витебский государственный университет имени П. М. Машерова (VGU). Коллекция лишайников кафедры ботаники Гродненского государственного университета (GSU) передана в лабораторию микологии Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси [1].

Коллекция лишайников Института экспериментальной ботаники насчитывает более 100 000 гербарных образцов и представлена около 1 760 видами. На 26.05.2026 г. в базу данных по лишайникам введено более 30 тыс. гербарных пакетов, около 1200 видов. В основном гербарные сборы представлены из Беларуси 26037 гербарных образцов, из России – 1484, Антарктиды – 552, Украины – 308, США – 156, Литвы – 288, Австралии – 111, Финляндии – 201. В базе данных белорусские образцы лишайников представлены практически из всех 118 административных районов республики, за исключением: Дубровенский р-н., Витебская область; Круглянский и Краснопольский р-ны., Могилевская область [1]. В коллекции MSK-L хранится 665 видов лишайников и близкородственных грибов, собранных на территории Беларуси. Наибольшее количество видов в коллекции отмечено из Витебской обл. – 518 видов или 77,9% общего числа видов, Минской обл. – 482 (72%), Гродненской обл. – 479 (72%), Брестской обл. – 464 (69,8%), Могилевской обл. – 413 (62%), наименьшее число видов известно из Гомельской обл. – 394 (60%).

Основными коллекторами являлись: В. В. Голубков, Н. В. Горбач, Н. Н. Кобзарь, Г. К. Крейер, Л. И. Любичкая, В. П. Савич, М. П. Томин, Д. И. Третьяков, Н. О. Цеттерман, Е. О. Юрченко, А. П. Яцына и др.

Коллекция лишайников (MSKH) Центрального ботанического сада НАН Беларуси берет свое начало с 2008 г. и основана на полевых материалах, полученных в ходе выполнения диссертационного исследования «Лишайники еловых лесов охраняемых и урбанизированных территорий Беларуси» (автор – П. Н. Белый). В настоящее время в гербарии представлены лишайники, собранные, в основном, на территории 48 административных районов Беларуси 6 областей республики. На сегодняшний день в коллекции хранится 6300 гербарных пакетов. В коллекции лишайников Центрального ботанического сада содержится 196 видов. Представленные в коллекции виды относятся к 70 родам, входящим в состав 33 семейств и 14 порядков отделов *Ascomycota* и *Basidiomycota* [2].

Коллекция лишайников (MSKU) гербария Белорусского государственного университета содержит около 4200 гербарных пакетов, основана доцентом кафедры ботаники Н. О. Цеттерман. В фондах хранится около 500 её авторских образцов, собранных в периоды 1925–1926 и 1946–1949 гг. В составе данных сборов преобладают образцы рода *Cladonia*. Около половины всех образцов собраны за период с 1968 по 1980 гг. Основными коллекторами в это время были студенты и выпускники кафедры ботаники Г. В. Вынаев, В. В. Голубков, Д. И. Третьяков. В настоящее время в гербарии представлены лишайники из 6 областей и 48 районов Республики Беларусь. Около половины сборов – из Минской области. Всего в гербарии лишайников БГУ содержится около 200 видов лишайников. Коллекционные образцы частично смонтированы на стандартных гербарных листах, частично хранятся в гербарных коробках [3].

Коллекция лишайников Гомельского государственного университета (GMU) основана в 1970-х гг. Сотрудниками кафедры ботаники О. П. Шахрай, Л. Н. Паруковой собрано около 1 000 гербарных образцов лишайников в основном из Припятского заповедника (сейчас НП «Припятский»). Пополнение коллекции продолжено в 2003 г. А. Г. Цуриковым. Была исследована лишенофлора г. Гомеля и ближайшего пригорода, соседних районов. Позднее проведены полевые сборы автора в других регионах Беларуси и зарубежья (более 3000 образцов), критический пересмотр отдельных таксонов гербарных коллекций с применением современных методов молекулярно-генетического анализа, что нашло свое отражение в докторской диссертации «Лишенобиота Беларуси: анализ разнообразия и перспек-

тивы практического использования» В настоящее время в гербарии Гомельского университета содержится около 4 000 гербарных пакетов [4].

В международных гербариях белорусские образцы представлены в коллекциях: Ботанический институт РАН (LE) г. Санкт-Петербург, Россия и Института ботаники НАН Украина (KW) г. Киев, Украина. В результате ревизии белорусских образцов лишайников и близкородственных грибов в лихенологическом гербарии Ботанического института РАН (LE) установлено, что общее количество гербарных пакетов составляет 1 502, относящихся к 260 видам лишайникам и близкородственным грибам. В ходе инвентаризации и восстановления современных административных структур (область, район, населенный пункт) белорусских образцов первой четверти XX в. в гербарии (LE) установлено, что виды представлены из 4 областей и 31 административного района Беларуси. Наибольшее число образцов отмечено для Могилевской области – 507, Витебской – 381, Минской – 349 и Гомельской – 264. Один образец лишайника, собранный на территории НП «Беловежская пуща» идентифицировать по административным районам и областям не удалось, так как образец содержал этикетку без населенного пункта. Наиболее число видов лишайников первой четверти XX в. отмечено в следующих районах: Осиповичский – 145 видов, Оршанский – 134, Минский – 97, Мозырский – 75, Речицкий – 46 и Солигорский – 42. В результате восстановления современных местонахождений видов лишайников и близкородственных грибов, обнаруженных различными исследователями на территории Беларуси в первой четверти XX в., установлено, что сборы происходят из 67 локалитетов. Коллекционный материал сформирован 18 авторами. При этом более чем по 50 гербарных пакетов принадлежит В. П. Савич (839 образцов), Г. К. Крейеру (382), Л. И. Любичкой (149) и А. И. Беляевой (57) [5].

В гербарии лишайников Института ботаники НАН Украины (KW) представлены сборы лишайников известного ботаника XIX в. Ж. Э. Жилибера. Гербарные образцы, собранные им в окр. г. Гродно хранятся коробках, обтянутых кожей. В коллекции лишайников представлены немногочисленные сборы около 150 гербарных образцов А. Н. Окснера, лишайники собраны в окр. г. Минска. Особый интерес представляют белорусские сборы М. Ф. Макаревич и А. Г. Ромс. Всего на территории Беларуси за период исследования с 15–31 августа 1957 г. собрано около 1 000 гербарных пакетов. Для облегчения работы создана база данных, восстановлено около 400 гербарных пакетов, содержащих 70 видов лишайников, большая часть сборов требует критической инвентаризации [3].

В последней сводке лишенобиоты Беларуси содержала 9 классов, 38 порядков, 83 семейства, 230 родов и 722 вида [6]. После проведения тонкослойной хроматографии отдельных таксономических родов лишайников (*Bryoria*, *Cetrelia*, *Cladonia*, *Micarea*, *Usnea* и другие), инвентаризации гербарных коллекций и лишенобиоты различных фитоценозов страны, в настоящее время лишенобиота Беларуси насчитывает 746 видов лишайников и близкородственных грибов, которые принадлежат 244 родам, 90 семействам, 47 порядкам и 9 классам, 2 отделам, царству – *Fungi* (табл.).

Таксономические ранги лишайников и близкородственных грибов приведены по [7]. За последние несколько лет для территории Беларуси впервые указываются следующие виды: **Chaenothecopsis parasitaster* (Bagl. & Carestia) D. Hawksw., *Chaenotricha cilians* Suija, McMullin & P. Löhmus., *Fuscidea praeruptorum* (Du Rietz & H. Magn.) V. Wirth & Vězda., *Cetrelia chicitae* (W. L. Culb.) W. L. Culb. & C. F. Culb., *Flavopunctelia soledica* (Nyl.) Hale, *+Phaeocalicium populneum* (Duby) A. F. W. Schmidt., *Pseudothelomma ocellatum* (Flot. ex Körb.) M. Prieto & Wedin. и другие.

Таблица. Таксономический состав и структура лишенобиоты Беларуси¹

Table. Taxonomic composition and structure of the lichen biota of Belarus

ЦАРСТВО FUNGI Bartling	
Отдел ASCOMYCOTA Caval.-Sm.	
Подотдел PEZIZOMYCOTINA O. E. Erikss. & Winka	
I. Класс ARTHONIOMYCETES O. E. Erikss. & Winka	
Ia Порядок ARTHONIALES Henssen ex D. Hawksw. & O. E. Erikss.	
Ia Семейство ARTHONIACEAE Rchb. – 29 видов	
1.	Под <i>Arthonia</i> Ach. s. l. – 18 видов (<i>*Arthonia coronata</i> – лишенофильный гриб)
2.	<i>Arthothelium</i> A. Massal. – 2
3.	<i>*Bryostigma</i> Poelt & Döbbeler – 2
4.	<i>*Briancoppinsia</i> Diederich, Ertz, Lawrey & van den Boom – 1
5.	<i>Diarthonis</i> Clem. – 1
6.	<i>Inoderma</i> (Ach.) Gray – 1

¹ В табл. лишенофильные грибы приводятся под обозначением – «*», нелихенизированные грибы «+».

7. <i>Leprantha</i> Dufour ex Körb. – 1
8. <i>Pachnolepia</i> A. Massal. – 1
9. <i>Reichlingia</i> Diederich & Scheid. – 1
10. <i>Thrombium</i> Wallr. – 1
2a Семейство CHRYSOTHRICHACEAE Zahlbr. – 2
11. <i>Chrysothrix</i> Mont. – 2
3a Семейство LECANOGRAPHACEAE Ertz, Tehler, G. Thor & Frisch – 4
12. <i>Alyxoria</i> Ach. – 2
13. <i>*Plectocarpon</i> Fée – 1
14. <i>Zwackhia</i> Körb. – 1
4a Семейство OPEGRAPHACEAE Körb. ex Stizenb. – 5
15. <i>Cresponea</i> Egea & Torrente – 1
16. <i>Opegrapha</i> Ach. – 4
5a Семейство ROCCELLACEAE Chevall. – 3
17. <i>Lecanactis</i> Körb. – 1
18. <i>Pseudoschismatomma</i> Ertz & Tehler – 1
19. <i>Schismatomma</i> Flot. & Körb. ex A. Massal. – 1
Ia Порядок ARTHONIALES , роды с неясным положением
20. <i>Bactrospora</i> A. Massal. – 1
21. <i>Felipes</i> Frisch & G. Thor – 1
IIa Порядок LICHENOSTIGMATALES Ertz, Diederich & Lawrey
6a Семейство PHAEOCOCCOMYCETACEAE McGinnis & Schell – 2
22. <i>*Lichenostigma</i> – 2
Подкласс CANDELARIOMYCETIDAE Miadl. et al. ex Timdal & M. Westb.
IIIa Порядок CANDELARIALES Miadl., Lutzoni & Lumbsch
7a Семейство CANDELARIACEAE Hakul. – 8
23. <i>Candelaria</i> A. Massal. – 2
24. <i>Candelariella</i> Müll. Arg. – 6
8a Семейство PYCNORACEAE Bendiksby & Timdal – 2
25. <i>Pycnora</i> Hafellner – 2
II. Класс CONIOCYBOMYCETES M. Prieto & Wedin
IVa Порядок CONIOCYBALES M. Prieto & Wedin
9a Семейство CONIOCYBACEAE Rchb. – 21
26. <i>Chaenotheca</i> (Th. Fr.) Th. Fr. – 15
27. <i>Chaenotricha</i> Suija, McMullin & P. Löhms – 1
28. <i>Sclerophora</i> Chevall. – 5
III. Класс DOTHIDEOMYCETES O. E. Erikss. & Winka
Va Порядок ABROTHALLALES Pérez-Ort. & Suija
10a Семейство ABROTHALLACEAE Pérez-Ort. & Suija – 6
29. <i>*Abrothallus</i> De Not. – 6
VIa Порядок CAPNODIALES Woron.
11a Семейство MYCOSPHAERELLACEAE Lindau – 1
30. <i>*Stigmidium</i> Trevis. – 1
VIIa Порядок COLLEMOPSIDIALES Pérez-Ort., Garrido-Ben. & Grube
12a Семейство XANTHOPYRENIACEAE Zahlbr. – 1
31. <i>*Zwackhiomyces</i> Grube & Hafellner – 1
VIIIa Порядок EREMITHALLALES Lücking & Lumbsch
13a Семейство MELASPILEACEAE Walt. Watson – 1
32. <i>+Melaspilea</i> Nyl. – 1
IXa Порядок LICHENOCONIALES Diederich, Lawrey & K. D. Hyde
14a Семейство LICHENOCONIACEAE Diederich & Lawrey – 4
33. <i>*Lichenocodium</i> Petr. & Syd. – 4
Xa Порядок MONOBLASTIALES Lücking, M. P. Nelsen & K. D. Hyde
15a Семейство MONOBLASTIACEAE Walt. Watson – 3
34. <i>Acrocordia</i> A. Massal. – 2
35. <i>Anisomeridium</i> (Müll. Arg.) M. Choisy – 1
XIa Порядок MYTILINIDIALES E. Boehm, C.L. Schoch & Spatafora
16a Семейство MYTILINIDIACEAE Kirschst. – 1
36. <i>*Taeniolella</i> S. Hughes – 1
XIIa Порядок PLEOSPORALES Luttr. ex M.E. Barr
17a Семейство CUCURBITARIACEAE Luerst. – 1
37. <i>*Pyrenochaeta</i> De Not. – 1
XIIIa Порядок TRYPETHELIALES Lücking, Aptroot & Sipman
18a Семейство POLYCOCCACEAE Ertz, Hafellner & Diederich – 2
38. <i>*Clypeococcum</i> D. Hawksw. – 1
39. <i>*Polycoccum</i> Saut. ex Körb. – 1
19a Семейство TRYPETHELIACEAE Eschw. – 4
40. <i>+Arthopyrenia</i> A. Massal. – 3
41. <i>+Mycomicrothelia</i> Keissl. – 1

III. Класс DOTHIDEOMYCETES, семейства с неясным положением 20a Семейство NAETROCYMBACEAE Höhn. ex R. C. Harris – 4 42. + <i>Leptorhaphis</i> Körb. – 3 43. + <i>Naetrocymbe</i> Körb. – 1	
IV. Класс EUROTIO MYCETES O. E. Erikss. & Winka Подкласс CHAETOTHYRIOMYCETIDAE Doweld XIVa Порядок CHAETOTHYRIALES M. E. Barr 21a Семейство HERPOTRICHIELLACEAE Munk – 1 44. * <i>Capronia</i> Sacc. – 1	
XVa Порядок PYRENULALES Fink ex D. Hawksw. & O. E. Erikss. 22a Семейство PYRENULACEAE Rabenh. – 4 45. + <i>Pyrenula</i> Ach. – 4	
XVIa Порядок VERRUCARIALES Mattick ex D. Hawksw. & O.E. Erikss. 23a Семейство VERRUCARIACEAE Eschw. – 31 46. <i>Agonimia</i> Zahlbr. – 2 47. <i>Catapyrenium</i> Flot. – 1 48. <i>Dermatocarpon</i> Eschw. – 1 49. <i>Endocarpon</i> Hedw. – 1 50. <i>Endopyrenium</i> Flot. – 1 51. <i>Hydropunctaria</i> C. Keller, Gueidan & Thüs – 1 52. * <i>Merismatium</i> Zopf – 1 53. * <i>Muellerella</i> Hepp ex Müll. Arg. – 4 54. <i>Normandina</i> Nyl. – 2 55. <i>Psoroglaena</i> Müll. Arg. – 1 56. <i>Staurothele</i> Norman – 3 57. * <i>Teloggalla</i> Nik. Hoffm. & Hafellner – 1 58. <i>Thelidium</i> A. Massal. – 2 59. <i>Verrucaria</i> Schrad. – 10	
Подкласс MYCOCALICIOMYCETIDAE Tibell XVIIa Порядок MYCOCALICIALES Tibell & Wedin 24a Семейство MYCOCALICIACEAE A. F. W. Schmidt – 15 60. +* <i>Chaenothecopsis</i> Vain. – 11 61. + <i>Mycocalicium</i> Vain. – 1 62. + <i>Phaeocalicium</i> A. F. W. Schmidt – 2 63. + <i>Stenocybe</i> Nyl. ex Körb. – 1	
25a Семейство SPHINCTRINACEAE M. Choisy – 1 64. * <i>Sphinctrina</i> Fr. – 1	
V. Класс LECANOROMYCETES O. E. Erikss. & Winka Подкласс ACAROSPOROMYCETIDAE Reeb, Lutzoni & Cl. Roux XVIIIa Порядок ACAROSPORALES Reeb, Lutzoni & Cl. Roux 26a Семейство ACAROSPORACEAE Zahlbr. – 16 65. <i>Acarospora</i> A. Massal. – 11 66. <i>Caeruleum</i> Arcadia – 1 67. <i>Myriospora</i> Nägeli ex Uloth – 1 68. <i>Sarcogyne</i> Flot. – 3	
Подкласс LECANOROMYCETIDAE P. M. Kirk, P. F. Cannon, J. C. David & Stalpers ex Miqdl., Lutzoni & Lumbsch XIXa Порядок CALICIALES Bessey 27a Семейство CALICIACEAE Chevall. – 22 69. <i>Amandinea</i> M. Choisy ex Scheid. & M. Mayrhofer – 1 70. <i>Buellia</i> De Not. – 5 71. <i>Calicium</i> Pers. – 11 72. <i>Dimelaena</i> Norman – 1 73. <i>Diplotomma</i> Flot. – 2 74. <i>Pseudothelomma</i> M. Prieto & Wedin – 1 75. <i>Tetramelas</i> Norman – 1	
28a Семейство PHYSCIACEAE Zahlbr. – 37 76. <i>Anaptychia</i> Körb. – 1 77. <i>Heterodermia</i> Trevis. – 1 78. <i>Phaeophyscia</i> Moberg – 6 79. <i>Physcia</i> (Schreb.) Michx. – 10 80. <i>Physciella</i> Essl. – 1 81. <i>Physconia</i> Poelt – 6 82. <i>Rinodina</i> (Ach.) Gray – 12	
XXa Порядок LECANORALES Nannf. 29a Семейство APHANOPSIDACEAE Printzen & Rambold – 1 83. <i>Steinia</i> Körb. – 1	
30a Семейство CARBONICOLACEAE Bendiksby & Timdal – 2 84. <i>Carbonicola</i> Bendiksby & Timdal – 2	
31a Семейство CATILLARIACEAE Hafellner – 3 85. <i>Catillaria</i> A. Massal. – 2	

86. <i>Halecaniella</i> M. Svenss., S. Ekman & M. Westb. – 1
32a Семейство CLADONIACEAE Zenker – 60
87. <i>Cladonia</i> P. Browne – 59
88. <i>Pycnothelia</i> (Ach.) Dufour – 1
33a Семейство HAEMATOMMATACEAE Hafellner – 1
89. <i>Haematomma</i> A. Massal. – 1
34a Семейство LECANORACEAE Körb. – 36
90. <i>Lecanora</i> Ach. s.l. – 23
91. <i>Lecidella</i> Körb. – 7
92. <i>Myriolecis</i> Clem. – 4
93. <i>Protoparmeliopsis</i> M. Choisy – 1
94. <i>Pyrrhospora</i> Körb. – 1
35a Семейство PARMELIACEAE Eschw. – 80
95. <i>Bryoria</i> Brodo & D. Hawksw. – 7
96. <i>Cetraria</i> Ach. – 5
97. <i>Cetrelia</i> W. L. Culb. & C. F. Culb. – 4
98. <i>Evernia</i> Ach. – 3
99. <i>Flavoparmelia</i> Hale – 1
100. <i>Hypogymnia</i> (Nyl.) Nyl. – 3
101. <i>Hypotrachyna</i> (Vain.) Hale – 2
102. <i>Imshaugia</i> S. L. F. Mey. – 1
103. <i>Melanelixia</i> O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. & Lumbsch – 4
104. <i>Melanohalea</i> O. Blanco, A. Crespo, Divakar, Essl., D. Hawksw. & Lumbsch – 5
105. <i>Menegazzia</i> A. Massal. – 1
106. <i>Montanelia</i> Divakar, A. Crespo, Wedin & Essl. – 1
107. <i>Nephromopsis</i> Müll. Arg. – 1
108. <i>Parmelia</i> Ach. – 7
109. <i>Parmelina</i> Hale – 1
110. <i>Parmeliopsis</i> (Nyl.) Nyl. – 2
111. <i>Parmotrema</i> A. Massal. – 2
112. <i>*Phacopsis</i> Tul. – 1
113. <i>Platismatia</i> W. L. Culb. & C. F. Culb. – 1
114. <i>Pleurosticta</i> Petr. – 1
115. <i>Protoparmelia</i> M. Choisy – 2
116. <i>Pseudevernia</i> Zopf – 1
117. <i>Punctelia</i> Krog – 3
118. <i>Usnea</i> Dill. Ex Adans. – 14
119. <i>Xanthoparmelia</i> (Vain.) Hale – 7
36a Семейство PILOCARPACEAE Zahlbr – 26
120. <i>Byssoloma</i> Trevis. – 1
121. <i>Fellhanera</i> Vězda – 3
122. <i>Fellhaneropsis</i> Sérus. & Coppins – 2
123. <i>Leimonis</i> R. C. Harris – 1
124. <i>Micarea</i> Fr. – 19
37a Семейство PSILOLECHIACEAE S. Stenroos, Miädl. & Lutzoni – 2
125. <i>Psilolechia</i> A. Massal. – 2
38a Семейство PSORACEAE Zahlbr. – 4
126. <i>Brianaria</i> S. Ekman & M. Svenss. – 2
127. <i>Protoblastenia</i> (Zahlbr.) J. Steiner – 1
128. <i>Protomicarea</i> Hafellner – 1
39a Семейство RAMALINACEAE C. Agardh – 49
129. <i>Bacidia</i> De Not. – 10
130. <i>Bacidina</i> Vězda – 8
131. <i>Biatora</i> Fr. – 9
132. <i>Catinaria</i> Vain. – 1
133. <i>Cliostomum</i> Fr. – 3
134. <i>Lecania</i> A. Massal. – 9
135. <i>Mycobilimbia</i> Rehm – 2
136. <i>Ramalina</i> Ach. – 1
137. <i>Scutula</i> Tul. – 1
138. <i>Toninia</i> A. Massal. – 1
139. <i>Toniniopsis</i> Frey – 4
40a Семейство RAMBOLDIACEAE S. Stenroos, Miädl. & Lutzoni – 1
140. <i>Ramboldia</i> Kantvilas & Elix – 1
41a Семейство SCOLICIOSPORACEAE Hafellner – 3
141. <i>Scoliciosporum</i> A. Massal. – 3
42a Семейство STEREOCAULACEAE Chevall. – 16
142. <i>Hertelidea</i> Printzen & Kantvilas – 1
143. <i>Lepraria</i> Ach. – 10
144. <i>Stereocaulon</i> Hoffm. – 5

43a Семейство TEPHROMELATACEAE Hafellner – 3 145. <i>Mycoblastus</i> Norman – 1 146. <i>Tephromela</i> M. Choisy – 1 147. <i>Violella</i> T. Sprib – 1
XXa Порядок LECANORALES, роды с неясным положением 148. <i>Lichenosticta</i> Zopf – 1
XXIa Порядок LECIDEALES Vain. 44a Семейство LECIDEACEAE Chevall. – 13 149. <i>Bryobilimbia</i> Fryday, Printzen & S. Ekman – 2 150. <i>Clauzadea</i> Hafellner & Bellem. – 1 151. <i>Lecidea</i> Ach. – 5 152. <i>Lopadium</i> Körb. – 1 153. <i>Porpidia</i> Körb. – 4
XXIIa Порядок PELTIGERALES Walt. Watson 45a Семейство COLLEMATACEAE Zenker – 17 154. <i>Blennothallia</i> Trevis. – 1 155. <i>Collema</i> Weber ex F.H. Wigg. – 3 156. <i>Enchylium</i> (Ach.) Gray – 3 157. <i>Lathagrium</i> (Ach.) Gray – 2 158. <i>Leptogium</i> (Ach.) Gray – 3 159. <i>Scytinium</i> (Ach.) Gray – 5
46a Семейство LOBARIACEAE Chevall – 2 160. <i>Lobaria</i> (Schreb.) Hoffm. – 2
47a Семейство NEPHROMATACEAE Wetmore ex J. C. David & D. Hawksw. – 4 161. <i>Nephroma</i> Ach. – 4
48a Семейство PELTIGERACEAE Dumort. – 17 162. <i>Peltigera</i> Willd. – 17
49a Семейство PLACYNTHIACEAE Å. E. Dahl – 1 163. <i>Placynthium</i> (Ach.) Gray – 1
XXIIIa Порядок RHIZOCARPALES Miqdl. & Lutzoni ex Miqdl. & Lutzoni 50a Семейство RHIZOCARPACEAE M. Choisy ex Hafellner – 14 164. <i>Rhizocarpon</i> Ramond ex DC. – 14
XXIVa Порядок TELOSCHISTALES D. Hawksw. & O. E. Erikss. 51a Семейство MEGALOSPORACEAE Vězda ex Hafellner & Bellem. – 1 165. <i>Megalospora</i> Meyen – 1
52a Семейство TELOSCHISTACEAE Zahlbr. – 32 166. <i>Athallia</i> Arup, Frödén & Söchting – 3 167. <i>Blastenia</i> A. Massal. – 3 168. <i>Calogaya</i> Arup, Frödén & Söchting – 3 169. <i>Caloplaca</i> Th. Fr. – 4 170. <i>Flavoplaca</i> Arup, Söchting & Frödén – 2 171. <i>Gyalolechia</i> A. Massal. – 2 172. <i>Kuettlingeria</i> Trevis. – 3 173. <i>Polycauliona</i> Hue – 4 174. <i>Rusavskia</i> S. Y. Kondr. & Kärnefelt – 1 175. <i>Variospora</i> Arup, Söchting & Frödén – 1 176. <i>Xanthomendoza</i> S. Y. Kondr. & Kärnefelt – 5 177. <i>Xanthoria</i> (Fr.) Th. Fr. – 1
V. Класс LECANOROMYCETES, семейство с неясным положением 53a Семейство ARTHRORHAPHIDACEAE Poelt & Hafellner – 1 178. <i>Arthrorhaphis</i> Th. Fr. – 1
Подкласс OSTROPOMYCETIDAE Reeb, Lutzoni & Cl. Roux XXVa Порядок ARCTOMIALES S. Stenroos, Miqdl. & Lutzoni 54a Семейство ARCTOMIACEAE Th. Fr. – 1 179. <i>Gregorella</i> Lumbsch – 1
XXVIa Порядок BAEOMYCETALES Lumbsch, Huhndorf & Lutzoni 55a Семейство BAEOMYCETACEAE Dumort. – 1 180. <i>Baeomyces</i> Pers. – 1
56a Семейство TRAPELIACEAE M. Choisy ex Hertel – 14 181. <i>Placynthiella</i> Elenkin – 5 182. <i>Trapelia</i> M. Choisy – 3 183. <i>Trapeliopsis</i> Hertel & Gotth. Schneid. – 6
57a Семейство XYLOGRAPHACEAE Tuck. – 2 184. <i>Spiloma</i> Ach. – 1 185. <i>Xylographa</i> (Fr.) Fr. – 1
XXVIIa Порядок GRAPHIDALES Bessey 58a Семейство GRAPHIDACEAE Dumort. – 5 186. <i>Diploschistes</i> Norman – 2 187. <i>Graphis</i> Adans. – 1

188. <i>Phaeographis</i> Müll. Arg. – 1
189. <i>Thelotrema</i> Ach. – 1
59a Семейство GOMPHILLACEAE Walt. Watson – 2
190. <i>*Corticifraga</i> D. Hawksw. & R. Sant – 1
191. <i>Jamesiella</i> Lücking, Sérus. & Vězda – 1
XXVIIIa Порядок GYALECTALES Henssen ex D. Hawksw. & O.E. Erikss.
60a Семейство GYALECTACEAE (A. Massal.) Stizenb. – 5
192. <i>Gyalecta</i> Ach. – 5
XXIXa Порядок OSTROPALES Nannf.
61a Семейство COENOGONIACEAE (Fr.) Stizenb. – 2
193. <i>Coenogonium</i> Ehrenb. Ex Nees – 2
62a Семейство PHLYCTIDACEAE Poelt ex J. C. David & D. Hawksw. – 2
194. <i>Phlyctis</i> (Wallr.) Flot. – 2
63a Семейство PORINACEAE Walt. Watson – 1
195. <i>Pseudosagedia</i> (Müll. Arg.) M. Choisy – 1
64a Семейство SPIROGRAPHACEAE Flakus, Etayo & Miqdl. – 1
196. <i>*Spirographa</i> Zahlbr. – 1
65a Семейство STICTIDACEAE Fr. – 5
197. <i>Absconditella</i> Vězda – 3
198. <i>*Cryptodiscus</i> Corda – 1
199. <i>Stictis</i> Pers. – 1
XXXa Порядок PERTUSARIALES M. Choisy ex D. Hawksw. & O. E. Erikss.
66a Семейство ICMADOPHILACEAE Triebel – 2
200. <i>Dibaeis</i> Clem. – 1
201. <i>Icmadophila</i> Trevis. – 1
67a Семейство MEGASPORACEAE Lumbsch – 6
202. <i>Aspicilia</i> A. Massal. – 1
203. <i>Circinaria</i> Link – 4
204. <i>Megaspora</i> (Clauzade & Cl. Roux) Hafellner & V. Wirth – 1
68a Семейство MICROCALICIACEAE Tibell – 1
205. <i>+Microcalicium</i> Vain. – 1
69a Семейство OCHROLECHIACEAE R. C. Harris ex Lumbsch & I. Schmitt – 7
206. <i>Ochrolechia</i> A. Massal. – 7
70a Семейство PERTUSARIACEAE Körb. – 12
207. <i>Leptra</i> Scop. – 5
208. <i>Pertusaria</i> DC. – 7
71a Семейство VARICELLARIACEAE B.P. Hodk., R.C. Harris & Lendemer ex Lumbsch & S.D. Leav. – 2
209. <i>Varicellaria</i> Nyl. – 2
XXXIa Порядок SARRAMEANALES Hodkinson et Lendemer
72a Семейство SARRAMEANACEAE Hafellner – 1
210. <i>Loxospora</i> A. Massal. – 1
XXXIIa Порядок SCHAERERIALES Lumbsch & S.D. Leav.
73a Семейство SCHAERERIACEAE M. Choisy ex Hafellner – 1
211. <i>Ropalospora</i> A. Massal. – 1
212. <i>Schaereria</i> Körb. – 1
Подкласс UMBILICARIOMYCETIDAE Bendiksby, Hestmark & Timdal
XXXIIIa Порядок UMBILICARIALES J. C. Wei & Q. M. Zhou
74a Семейство FUSCIDEACEAE Hafellner – 2
213. <i>Fuscidea</i> V. Wirth & Vězda – 2
75a Семейство OPHIOPARMACEAE R.W. Rogers & Hafellner – 1
214. <i>Hypocenomyce</i> M. Choisy – 1
76a Семейство UMBILICARIACEAE Chevall. – 3
215. <i>Umbilicaria</i> Hoffm. – 1
216. <i>Xylopsora</i> Bendiksby & Timdal – 2
V. Класс LECANOROMYCETES, род с неясным положением
217. <i>Piccolia</i> A. Massal. – 1
VI. Класс LEOTIOMYCETES O. E. Erikss. & Winka
XXXIVa Порядок HELOTIALES Nannf. Ex Korf & Lizoň
77a Семейство HYALOSCYPHACEAE Nannf. – 1
218. <i>*Hyphodiscus</i> Kirschst. – 1
XXXIVa Порядок HELOTIALES , род с неясным положением
219. <i>*Bachmanniomyces</i> D. Hawksw. – 1
XXXVa Порядок LEOTIOMYCETES O.E. Erikss. & Winka, род с неясным положением
220. <i>*Epicladoria</i> D. Hawksw. – 3
VII. Класс SAREOMYCETES Beimforde, A.R. Schmidt, Rikkinen & J.K. Mitch.
XXXVIa Порядок SAREOMYCETES Beimforde, A.R. Schmidt, Rikkinen & J.K. Mitch.
78a Семейство SAREACEAE Beimforde, A.R. Schmidt, Rikkinen & J.K. Mitch. – 2
221. <i>+Sarea</i> Fr. – 2

Подкласс SORDARIOMYCETIDAE O. E. Erikss. & Winka XXXVIIa Порядок HYPOCREALES Lindau 79a Семейство BIONECTRIACEAE Samuels & Rossman – 6	
222. <i>*Acremonium</i> Link – 2	
223. <i>*Nectriopsis</i> Maire – 1	
224. <i>*Pronectria</i> Clem. – 3	
80a Семейство TRICHONECTRIACEAE Darmostuk, Etayo & Flakus – 1	
225. <i>*Trichonectria</i> Kirschst. – 1	
XXXVIIa Порядок HYPOCREALES , роды с неясным положением	
226. <i>*Illosporiopsis</i> D. Hawksw. – 1	
227. <i>*Roselliniella</i> Vain. – 1	
XXXVIIIa Порядок PHYLLACHORALES M.E. Barr 81a Семейство PHYLLACHORACEAE Theiss. & P. Syd. – 1	
228. <i>*Lichenochora</i> Hafellner – 1	
XXXIXa Порядок SORDARIALES Chadeff. Ex D. Hawksw. & O.E. Erikss. 82a Семейство HELMINTHOSPHAERIACEAE Samuels, Cand. & Magni – 2	
229. <i>*Endophragmiella</i> B. Sutton – 2	
XXXXa Порядок THELOCARPALES Lücking & Lumbsch 83a Семейство THELOCARPACEAE Zukal – 6	
230. <i>Sarcosagium</i> A. Massal. – 1	
231. <i>Thelocarpon</i> Nyl. – 5	
XXXXIa Порядок VEZDAEALES Lumbsch & Lücking 84a Семейство VEZDAEACEAE Poelt & Vězda – 2	
232. <i>Vezdaea</i> Tscherm.-Woess & Poelt – 2	
PEZIZOMYCOTINA , роды с неясным положением	
233. <i>Biatoridium</i> J. Lahm ex Körb. – 1	
Отдел ASCOMYCOTA , роды с неясным положением	
234. <i>*Intralichen</i> D. Hawksw. & M.S. Cole – 2	
235. <i>Strangospora</i> Körb. – 3	
236. <i>*Taeniolina</i> M.B. Ellis – 1	
237. <i>*Xanthoriicola</i> D. Hawksw. – 1	
Отдел BASIDIOMYCOTA R. T. Moore Подотдел AGARICOMYCOTINA Doweld VIII. Класс AGARICOMYCETES Doweld XXXXIIa Порядок AGARICALES Underw. 85a Семейство HYGROPHORACEAE Lotsy – 1	
238. <i>Lichenomphalia</i> Redhead, Lutzoni, Moncalvo & Vilgalys – 1	
XXXXIIIa Порядок ATHELIALES Jülich 86a Семейство ATHELIACEAE Jülich – 1	
239. <i>+Athelia</i> Pers. – 1	
XXXXIVa Порядок CANTHARELLALES Gäum. 87a Семейство HYDNACEAE Chevall. – 1	
240. <i>Multiclavula</i> R.H. Petersen – 1	
XXXXVa Порядок CORTICIALES K.H. Larss. 88a Семейство CORTICIACEAE Herter – 1	
241. <i>*Erythricium</i> J. Erikss. & Hjortstam – 1	
IX. Класс TREMELLOMYCETES Doweld XXXXVIa Порядок FILOBASIDIALES Jülich 89a Семейство FILOBASIDIACEAE L.S. Olive – 1	
242. <i>*Heterocephalacria</i> Berthier – 1	
XXXXVIIa Порядок TREMELLALES Fr. 90a Семейство TREMELLACEAE Fr. – 1	
243. <i>*Tremella</i> Pers. – 1	
Род с неясным положением в порядке XXXXVIIa TREMELLALES	
244. <i>*Biatoropsis</i> Räsänen – 1	

В лаборатории микологии Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси освоена и используется методика определения лишайниковых кислот с помощью метода тонкослойной хроматографии (TLC) в системе растворителей С. С 2018 по 2025 г. исследованы вторичные лишайниковые метаболиты у следующих родов лишайников: *Biatora*, *Bryoria*, *Cetrelia*, *Cladonia*, *Cliostomum*, *Lecanora*, *Lecidea*, *Lepraria*, *Loxospora*, *Micarea*, *Ochrolechia*, *Parmelia*, *Parmo-*

trema, *Punctelia*, *Ropalospora*, *Scoliciosporum*, *Usnea* и другие [8–12]. Тонкослойная хроматография занимает одно из ведущих мест в качественном и полуколичественном анализе сложных природных объектов, в том числе и лишайников. К достоинствам можно отнести – единственный хроматографический метод, который позволяет проводить полный анализ содержания лишайниковых метаболитов. Полученные результаты разделения легко оценить визуально, т. е. можно со-

хранять хроматограммы и осуществлять спектральную проверку хроматографических зон после разделения в любом диапазоне длин волн. Изучен качественный состав лишайниковых кислот более чем 100 видов лишайников из Европы, Азии, Австралии и Северной Америки, идентифицировано около 150 различных соединений лишайниковых кислот у более чем 2 тыс. гербарных образцов [1].

Полученные данные по качественному составу лишайниковых веществ белорусских образцов позволят приступить к подготовке нового тома «Флора Беларуси. Лишайники». В книге будут представлены следующие семейства и роды: *Parmeliaceae* (*Bryoria*, *Cetrelia*, *Hypotrachyna*, *Flavopunctelia*, *Parmelia*, *Parmotrema*, *Punctelia*, *Usnea* и *Xanthoparmelia*), *Cladoniaceae* (*Cladonia* и *Pycnothelia*), *Ramalinaceae* (*Ramalina*), *Peltigeraceae* (*Peltigera*) и некоторые другие.

Изучение видового состава и экологии лишайников хвойных лесов и дубрав страны вышли на новый уровень исследования. Лихенобиота хвойных лесов Беларуси содержит 361 вид, из них 346 видов лишайников, 11 видов нелихенизированных видов грибов, а также 4 вида лихенофильных грибов, относящихся к 2 отделам, 7 классам, 24 порядкам, 56 семействам и 130 родам. Флористический спектр лихенобиоты хвойных лесов показывает, что виды относятся к 24 порядкам: *Lecanorales* > *Caliciales* > *Peltigerales* > *Arthoniales* > *Coniocybales* > *Pertusariales* > *Ostropales* = *Trapeliales* > *Teloschistales* > *Mycocaliciales* > *Candelariales* > *Lecideales* > *Pyrenulales*, по 2 вида включают следующие порядки: *Monoblastiales*, *Rhizocarpales*, *Umbilicariales*; по 1 виду – *Acarosporales*, *Agaricales*, *Arctomiales*, *Baeomycetales*, *Sarrameanales*, *Thelocarpales*, *Tremellales* и *Vezdaeales*. Количество видов лишайников и близкородственных грибов в сосновых лесах составляет 265 видов, т.е. увеличено на 19%, для еловых лесов увеличено до 319 видов, на 19,5% [13].

Как показали наши исследования, количество видов лишайников и близкородственных грибов в подзонах хвойных лесов в целом, а также в подзонах сосновых и еловых фитоценозах в частности с севера на юг уменьшается. В хвойных лесах для всех геоботанических областей Беларуси отмечено 81 общий вид лишайников. Общим для сосновых и еловых лесов являются 201 вид (71% общего числа) лишайников и близкородственных грибов из 361 вида известных в хвойных лесах Беларуси [13].

Коэффициент сходства (Csc) лихенобиоты сосновых лесов для 3-х подзон колеблется от 72% до 61%. Сходство лихенобиоты сосновых

лесов в северной–центральной–южной подзонах составляет 72%–70%–61% видового состава лишайников и близкородственных грибов. Коэффициент сходства (Csc) лихенобиоты еловых лесов 3-х подзон колеблется от 67% до 56%. Сходство лихенобиоты еловых лесов в северной–центральной–южной подзонах составляет 67%–63%–56% видового состава лишайников и близкородственных грибов. Для лихенобиоты сосновых лесов также наблюдается варьирование видового состава по геоботаническим округам Беларуси от 186 видов (71% от общего числа видов в формации сосновых лесов) в Ошмянско-Минском округе, до 91 вида (34,6%) в Бугско-Полесском округе. Более сотни видов отмечено в Западно-Двинском округе – 171 (65% общего числа с сосновых лесах), Неманско-Предполесском – 163 (62%), Оршанско-Могилевском – 135 (51,3%), Березинско-Предполесском – 117 (44,5%) и Полесско-Приднестровском – 123 (46,7%) округах [13].

В результате проведенных исследований удалось выявить разнообразие лишайников и близкородственных грибов в еловых и сосновых лесах геоботанических округов республики. Так, например, наибольшее число видов отмечено в еловых лесах в Ошмянско-Минском округе – 196 (61% от общего числа видов в еловых лесах), а наименьшее найдено в Бугско-Полесском округе – 75 видов (23,5%). Более сотни видов найдены в Неманско-Предполесском – 147 (46,3% от общего числа видов в еловых лесах), Западно-Двинском – 140 (43%), Березинско-Предполесском – 135 (42%), Оршанско-Могилевском – 129 (40,4%) и Полесско-Приднестровском 119 (37,3%) округах [13].

Выявлена субстратная приуроченность лихенобиоты сосновых и еловых лесов Беларуси. Лихенобиота хвойных лесов представлена 7 субстратными комплексами. На коре деревьев в хвойных лесах республики отмечено 249 видов лишайников (69% от общего числа видов в хвойных лесах). На коре лиственных деревьев березы бородавчатой, дуба черешчатого, осины, ольхи черной и т.д. найдено 204 таксона (56,5% от общего числа видов в хвойных лесах, 82% от общего числа эпифитных видов). На коре хвойных: сосны, ели и можжевельника найден 131 вид (36% от общего числа видов в хвойных лесах, 52,6% от общего числа эпифитных видов). Общими для хвойных и лиственных пород оказались 90 видов (36,2% от общего числа эпифитных видов) [13].

В хвойных лесах республики отмечено 110 эпиксильных видов лишайников и близкородственных грибов (30,5% от общего числа видов в хвойных лесах). Для хвойных лесов республики

выделены облигатные и факультативные эпиксилы. Проведён сравнительный анализ лишенобиоты трёх экологических групп валежа в хвойных лесах. К первой группе относятся вертикально стоящие или наклоненные усыхающие и/или сухие стволы деревьев, лишённые полностью или частично коры – 47 видов (42,7% общего числа эпиксильных видов); ко второй группе принадлежат виды, которые растут на сухих ветках, как вертикальных, так и наклоненных стволов – 14 видов (12,7%). К третьей группе относятся горизонтально лежащие в напочвенном покрове стволы или валеж, лишенный коры, пни, без коры или верхняя часть пня – 92 вида (83,6%). Коэффициент сходства (Csc) видового состава лишенобиоты древесины стоящих и валежных (включая пни) стволов, составляет 30 видов (43,1% общего числа эпиксильных видов) [13].

На почве, растительных остатках (гумус) в хвойных лесах встречается 76 видов лишайников (21,2% от общего числа видов в хвойных лесах). Наиболее число видов на почве отмечено в сосняках лишайниковых, вересковых и мшистых – 72 вида (94,7% общих эпигейных видов). В еловых лесах на почве отмечено лишь 39 видов лишайников (49,3% от общего числа эпигейных видов). На камнях в хвойных лесах отмечено 20 видов (5,5% от общего числа видов в хвойных лесах), на бетоне встречаются 10 видов (2,8% от общего числа видов в хвойных лесах) [13].

На плодовых телах трутовых грибов в хвойных лесах найдено два вида: *Bacidia igniarii* и *Phaeocalicium polyporaеum*. На смоле сосен и елей в хвойных лесах найдены – *Sarea difformis* и *S. resinae*. На талломах лишайников в хвойных лесах отмечено четыре вида лихенофильных грибов: *Biatoropsis usnearum*, *Chaenothecopsis consociata*, *Clypeococcum hypocenomycis* и *Phaeosporobolus usneae* [13].

В дубравах Беларуси выявлено 279 видов, в том числе 259 видов лишайников, 10 видов лихенофильных и 10 видов нелихенизированных грибов. Выявленные таксоны относятся к двум отделам, 7 классам, 22 порядкам, 51 семейству и 127 родам. Подавляющее большинство отмеченных видов принадлежит классу *Lecanoromycetes*, который включает 8 порядков, 29 семейств, 75 родов и 200 видов лишайников (75% общего числа видов известных в дубравах республики). Флористический спектр лишенобиоты дубрав показывает, что виды относятся к 20 порядкам: *Lecanorales* > *Caliciales* > *Arthoniales* > *Coniocybales* > *Peltigerales* > *Ostropales* > *Mycocaliciales* = *Pertusariales* > *Trapeliales* > *Teloschistales* > *Candelariales* > *Monoblastiales*. В дубравах уровнем выше среднего значения характеризуются следу-

ющие семейства: *Parmeliaceae* > *Ramalinaceae* > *Coniocybaceae* > *Physciaceae* > *Pilocarpaceae* > *Cladoniaceae* > *Lecanoraceae* > *Arthoniaceae* > *Caliciaceae* > *Trapeliaceae* = *Mycocaliciaceae* = *Peltigeraceae* > *Teloschistaceae* = *Pertusariaceae* = *Stereocaulaceae*. Принятые для изученной лишенобиоты ранги жизненных форм насчитывают 24 группы, 4 класса, 3 типа и 2 отдела жизненных форм. Среди групп преобладает зернисто-бородавчатые – 51 вид, класс накипные – 156 видов, тип плагиотропные – 156, отдел эпигенные – 248 видов.

В лишенобиоте дубовых лесов выделено 5 географических элементов, из которых наиболее представлены неморальный (127 видов лишайников), бореальный (95) и космополитный (48). Представители монтанного (6) и гипоарктомонтанного (3) географических элементов незначительно представлены в структуре лишенобиоты и не играют существенной роли в современных фитоценозах дубрав республики. Основу лишенобиоты дубовых лесов составляют виды с широкими ареалами – мультирегиональным (166 видов) и голарктическим (84). Европейский, европейско-североафриканский, еврамериканский, евразийский и палеарктический ареалы характерны лишь для 29 видов (10,4%) лишайников.

Доля видов лишайников и близкородственных грибов в лесах дубовой формации в геоботанических подзонах страны варьирует в значительных пределах от 23,5 до 60,5%, наименьший вклад лишенобиоты дубрав 23,5% в подзоне дубово-темнохвойных лесов республики связан с минимальными площадями естественных дубовых лесов. Наибольший процент от общего числа видов в подзоне характерен для Неманско-Предполесского геоботанического округа – 71,5%. Это явление можно объяснить хорошей сохранностью дубовых лесов в НП «Беловежская пушча» и в заказнике «Липичанская пушча». Для лишенобиоты дубовых лесов наблюдается широкое ранжирование видового состава по геоботаническим округам Беларуси – от 212 видов (76,0% от общего числа видов в формации дубовых лесов) в Неманско-Предполесском округе до 59 вида (21,1%) в Оршанско-Могилевском округе. Более сотни видов отмечено в Полесско-Приднепровском – 176 (67%) и Березинско-Предполесском округе – 160 (60,8%). Коэффициент сходства (C_{sc}) лишенобиоты дубрав для семи геоботанических округов колеблется от 40,8 до 82,1%. Наибольшим коэффициентом сходства лишенобиоты характеризуются Неманско-Предполесский (4) и Березинско-Предполесский (5) округа – 138 общих вида (82,1%), а наименьшим – Неманско-Предполесский (4) и Оршанско-Могилевский (3) округа – 130 общих видов (61,9%).

левский (3) округа, насчитывающие 54 общих вида (40,8%).

Уровнем выше среднего показателя сходства 54,6% общего видового состава лишайников дубрав характеризуются 8 пар округов. Биологическое разнообразие лишайников и близкородственных грибов на территории Беларуси в дубовых лесах изменяется постепенно по геоботаническим подзонам и округам. Наибольшее количество связей образуют преимущественно соседние геоботанические округа, а также округа II–III подзон, северная и южная подзоны характеризуются низким видовым сходством. Наибольшее количество пар связей (4) в дубовых лесах образуют следующие округа: Неманско-Предполесский, Бугско-Полесский, Полесско-Приднепровский и Березинско-Предполесский. Отдельным особняком представлена лишенобиота дубрав подзоны дубово-темнохвойных лесов.

Среднее значение коэффициента сходства (Csc) лишенобиот 8 типов леса дубовой формации – 58%. Более 58% общих видов лишайников характерно для дубрав кисличных–черничных (58,1%), кисличных–снытевых (61,6%); черничных–снытевых (58,9%), черничных–прируслово-пойменных (62,7%), черничных–злаково-пойменных (58,4%), папоротниковых–орляковых (59,3%), папоротниковых–снытевых (57,8%), орляковых–снытевых (63%), снытевых–прируслово-пойменных (64%), прируслово-пойменных–злаково-пойменных (70,2%), прируслово-пойменных–пойменных (66,3%), злаково-пойменных–пойменных (68,9%), прируслово-пойменных–ольхово-пойменных (62,3%), злаково-пойменных–ольхово-пойменных (59,1%), пойменных–ольхово-пойменных (63,6%).

Лишенобиота дубрав республики представлена 8 субстратными комплексами: на коре деревьев и кустарников отмечено 228 видов (81,7% общего числа видов), к эпиксильным лишайникам относятся 69 видов (24,7%), на талломах и апотециях лишайников – 10 видов лишенофильных грибов, на почве – 6 видов (2,1%), на антропогенном субстрате (шифере) – 4 вида: *Calogaya decipiens*, *Candelariella aurella*, *Phaeophyscia sciastra* и *Physcia caesia*, на плодовых телах трютовых грибов – три вида: *Chaenotheca chlorella*, *Phaeocalicium polyporaeum* и *Placynthiella uliginosa*, на смоле – два вида: *Sarea difformis* и *S. resiniae*, на иголках ели европейской – *Fellhanera bouteillei* и *F. subtilis*. Эпифитные лишайники отмечены на 22 породах деревьев и кустарников. Количество эпифитных видов по породам уменьшается в следующей прогрессии: *Quercus robur* > *Carpinus betulus* > *Acer platanoides* > *Populus tremula* > *Betula pendula* > *Fraxinus excelsior* > *Al-*

nus glutinosa > *Picea abies* > *Tilia cordata* > *Pinus sylvestris* > *Corylus avellana* > *Ulmus glabra* > *Quercus petraea* > *Populus deltoides* > *Abies alba* > *Sorbus aucuparia* > *Salix alba* > *Salix fragilis* > *Padus avium* > *Frangula alnus* > *Alnus incana* > *Ame-lanchier spicata*.

Новое издания Красной книги Республики Беларусь претерпело значительное изменение, благодаря детальной инвентаризации и ревизии отдельных таксонов, в том числе и с помощью метода тонкослойной хроматографии. В новое издания Красной книги включены *Leptogium saturninum* (Dicks.) Nyl. – как вид, ранее находящийся в списке, по-видимому, исчезнувших видов и отмеченный в нескольких местах произрастания в последние годы; *Cetrelia olivetorum* (Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb. – вид ранее рассматривался как синоним охраняемого вида – *Cetrelia cetrarioides* (Delise) W. L. Culb. & C. F. Culb. Такие виды как *Thelotrema lepadinum* (Ach.) Ach., *Ramalina baltica* Lettau и *Bactrospora dryina* (Ach.) A. Massal. предложены к охране в связи со значительной трансформацией их мест произрастания. В список профилактической охраны включено 7 новых видов лишайников: *Lecanactis abietina* (Ach.) Körb., *Evernia mesomorpha* Nyl., *Cladonia norvegica* Tønsberg et Holien, *Felipes leucopellaeus* (Ach.) Frisch & G. Thor, *Arthonia vinosa* Leight., *Chrysothrix candelaris* (L.) J.R. Laundon и *Cliostomum corrugatum* (Ach.) Fr. Таким образом, основной список содержит 29 видов лишайников, а в список профилактической охраны – 30 видов [14].

За последние несколько лет сотрудники лаборатории микологи принимали участия в реализации планов управления национальных парков: «Нарочанский», «Браславские озера» и «Беловежская пуца».

Лишенобиота НП «Беловежская пуца» принадлежит двум отделам: *Ascomycota*, содержащему 411 видов лишайников (98,8% общего числа видов) и *Basidiomycota* – 5 видов (1,2%), входящим в состав царства *Fungi*. Лишенобиота парка включает 385 видов лишайников, 20 видов лишенофильных грибов: *Arthrorhaphis aeruginosa*, *Athelia arachnoidea*, *Bachmanniomyces punctum*, *Biatoropsis usnearum*, *Briancoppinsia cytophora*, *Chaenothecopsis consociata*, *C. epithallina*, *Clypeococcum hypocenomyces*, *Lichenocodium erodens*, *L. lecanorae*, *L. xanthoriae*, *Muellerella hospitans*, *Phaeosporobolus usneae*, *Pronectria anisospora*, *Sphinctrina turbinata*, *Stigmidium microspilum*, *Talpapellis beschiana*, *Tremella hypogymniae*, *Trichonectria rubefaciens* и *Xanthoriicola physciae* и 11 нелихенизированных грибов: *Chaenothecopsis nana*, *C. pusilla*, *C. pusiola*, *C. rubescens*, *C. viridi-*

reagens, *Mycocalicium subtile*, *Phaeocalicium populaeum*, *P. populneum*, *Sarea difformis*, *S. resinae* и *Stenocybe pullatula*. Впервые для территории парка приводятся следующие виды: *Absconditella lignicola*, *Arthonia apatetica*, *Athallia pyracea*, *Bellicidia incompta*, *Cetrelia chicitae*, *Cliostomum corrugatum*, *Fuscidea praeruptorum*, *Halecania viridescens*, *Lichenomphalia umbellifera*, *Phaeocalicium populneum*, *Placynthiella oligotropa*, *Sclerophora peronella*, *Xylopsora friesii* и другие.

Лихенобиота НП «Браславские озера» включает 266 видов, из них 253 таксонов лишайников, 5 лихенофильных видов грибов (*Athelia arachnoidea*, *Chaenothecopsis consociata*, *C. epithallina*, *Clypeococcum hypocenomycis*, *Muellerella hospitans*) и 8 нелихенизированных грибов (*Arthopyrenia grisea*, *Chaenothecopsis nana*, *Microcalicium disseminatum*, *Mycocalicium subtile*, *Naetrocymbe punctiformis*, *Sarea difformis*, *S. resinae*, *Stenocybe pullatula*). Впервые для территории парка приводятся 39 новых видов лишайников и близкородственных грибов: *Anisomeridium polypori*, *Arthonia arthonioides*, *A. dispersa*, *A. vinosa*, *Bacidia arceutina*, *Biatora globulosa*, *B. ocelliformis*, *Bryoria implexa*, *B. nadvornikiana*, *B. vrangiana*, *Buellia disciformis*, *Calicium graucellum*, *Cetrelia cetra-rioides*, *C. monachorum*, *Chaenotheca brunneola*, *C. phaeocephala*, *Chaenotricha cilians*, *Chaenothecopsis nana*, *Cladonia deformis*, *C. floerkeana*, *Clypeococcum hypocenomycis*, *Flavoparmelia caperata*, *Flavoplaca citrina*, *Heterodermia speciosa*,

Lecania erysibe, *Lecidea turgidula*, *Lecidella euphorea*, *Lepraria eburnea*, *L. finkii*, *L. jackii*, *Melanohalea septentrionalis*, *Micarea denigrata*, *M. melana*, *M. pseudomicrococca*, *Montanelia sorediata*, *Muellerella hospitans*, *Peltigera neckeri*, *Thelotrema lepadinum* и *Ropalospora viridis*.

Лихенобиота НП «Нарочанский» содержит 290 видов, из них 277 таксонов лишайников, 6 лихенофильных видов грибов (*Biatoropsis usnearum*, *Clypeococcum hypocenomycis*, *Muellerella ventosicola*, *Phaeosporobolus usnae*, *Stigmidium microspilum* и *Xanthorhizicola physciae*) и 7 нелихенизированных грибов (*Arthopyrenia analepta*, *Chaenothecopsis pusilla*, *Microcalicium disseminatum*, *Mycocalicium subtile*, *Sarea difformis*, *S. resinae* и *Stenocybe pullatula*) [15].

Лихенобиота НП «Припятский» в настоящее время представлена 268 видами.

Требуется дальнейшей критической ревизии лихенобиота особо охраняемых природных территорий страны. Необходимость такой модернизации продиктована неравномерностью и фрагментарностью прошлых лихенологических изысканий, многие из которых проводились десятилетия назад и не охватывали весь спектр микроэкологических ниш. Проведение систематического переучета и верификации видового состава на заповедных территориях позволит не только выявить скрытое таксономическое разнообразие, но и сформировать объективную информационную базу, отражающую реальный природоохранный потенциал эталонных экосистем Беларуси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье аккумулированы и систематизированы актуальные сведения о биологическом разнообразии лишайников и близкородственных грибов, представленных в гербарных коллекциях страны и ближнего зарубежья. Представленный таксономический состав лихенобиоты Беларуси в полной мере отражает современную структуру лихенофлоры Восточной Европы. Особое внимание уделено инвентаризации лихенобиоты хвойных лесов и дубрав республики как наиболее репрезентативных лесных формаций. Проведенная

ревизия вторичных метаболитов отдельных таксономических групп лишайников закладывает прочный методический фундамент, который позволит приступить к подготовке очередного тома фундаментального издания «Флора Беларуси. Лишайники». Наряду с этим детально изучена лихенобиота национальных парков республики, составлены аннотированные списки видов, разработаны паспорта и охранные обязательства, которые уже успешно используются в практической реализации Планов управления ООПТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яцына, А. П. Коллекция лишайников и близкородственных грибов Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK-L) / А. П. Яцына ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Мн. : Беларуская навука, 2022. – 427 с.
2. Белый, П. Н. Коллекция лишайникообразующих грибов Центрального ботанического сада НАН Беларуси: современное состояние / П. Н. Белый, М. Н. Вашкевич // Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию Центрального ботанического сада НАН Беларуси, Минск, 6–8 июня 2017 г. : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Центральный бот. сад ; редкол.: В. В. Титок [и др.]. – Мн. : Центральный ботанический сад НАН Беларуси, 2017. – Ч. 1. – С. 357–360.

3. Флора Беларуси. Лишайники. Т. 1 / А. П. Яцына, В. В. Голубков, Д. Е. Гимельбрант [и др.] ; под общ. ред. В. И. Парфенова ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Мн. : Беларуская навука, 2019. – 341 с.
4. Цуриков, А. Г. Гербарий лишайников Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины / А. Г. Цуриков ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2025. – 219 с.
5. Яцына, А. П. Инвентаризация и инсерация белорусских образцов лишайников первой четверти XX в. в гербарии Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (LE) / А. П. Яцына // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2017. – № 4. – С. 120–128.
6. Цуриков, А. Г. Лишайники Беларуси / А. Г. Цуриков ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. – 379 с.
7. Index Fungorum : [bibliographic database] / Royal Botanic Gardens. – Kew, Richmond, 2026. – URL: <http://www.indexfungorum.org/names/Names.asp> (date of access: 15.04.2026).
8. Яцына, А. П. Лишайники рода *Lepraria* в Беларуси: экология и распространение видов / А. П. Яцына // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2019. – № 1. – С. 40–47.
9. Яцына, А. П. Лишайники рода *Parmelia* Ach. в Беларуси / А. П. Яцына // Разнообразие растительного мира. – 2020. – № 1 (4). – С. 5–16.
10. Яцына, А. П. Предварительная ревизия лишайников рода *Usnea* Dill. ex Adans. в гербарии MSK-L: биохимические особенности, экология и распространение видов / А. П. Яцына // Биоразнообразие грибов и лишайников особо охраняемых природных территорий : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., Минск – Березинский биосферный заповедник, 29 сент. – 1 окт. 2021 г. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Березинский биосфер. заповедник ; редкол.: В. И. Парфенов [и др.]. – Мн., 2021. – С. 213–224.
11. Яцына, А. П. Ревизия лишайников *Bryoria implexa* (Hoffm.) Brodo & D. Hawksw. и *Bryoria vrangiana* (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw. в лишенологической коллекции (MSK-L) / А. П. Яцына, Цзяньцзи Дин // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2025. – Вып. 55. – С. 256–261.
12. Яцына, А. П. Инвентаризация лишайников рода *Cetrelia* W. L. Culb. & C. F. Culb. в коллекции лишайников Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK-L) / А. П. Яцына, А. П. Свирид // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2025. – Вып. 56. – С. 322–329.
13. Яцына, А. П. Лихенобиота хвойных лесов Беларуси / А. П. Яцына ; под ред. А. В. Пугачевского ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича. – Мн. : Беларуская навука, 2024. – 463 с. : ил., табл.
14. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / редкол.: С. М. Масляк (предс.) [и др.] ; гл. ред. А. Н. Карлюкевич [и др.]. – 5-е изд. – Мн. : Беларусь, 2025. – 576 с.
15. Яцына, А. П. Новые сведения о находках лишайников и близкородственных им грибов в национальном парке «Нарочанский» (Минская область, Беларусь) / А. П. Яцына, А. Ч. Милько, В. С. Люштык // Ботаника (исследования) / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук [и др.]. – Мн., 2024. – Вып. 54. – С. 340–346.

Поступила в редакцию 01.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Яцына Александр Петрович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Свирид Анна Павловна – младший научный сотрудник лаборатории микологии Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Яцына, А. П. Лихенобиота Беларуси: таксономическая структура, коллекционные фонды и векторы современных исследований / А. П. Яцына, А. П. Свирид // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 188–201.

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ PLANTS PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

УДК 58.04

Н. А. ЛАМАН¹, Т. В. САМОВИЧ¹, Е. Н. ОЛЕШУК¹,
П. А. НЕБЫШИНЕЦ¹, И. Н. АНАНЬЕВА², З. М. АЛЕЩЕНКОВА²

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЫПУЧИХ ФОРМ МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ

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

²*Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: ananeva_irina@mail.ru*

Аннотация. В статье описан один из способов утилизации гидролизного лигнина – многотоннажного отхода биотехнологической промышленности – его использование в качестве сорбента микроорганизмов. Проведен подбор оптимального количества лигнина и условий смешивания с микробными препаратами и дрожжевыми клетками (в виде остаточных пивных дрожжей), минимизирующих время сушки готовых препаратов, содержащих лигнин и микроорганизмы. Установлено стимулирующее влияние препарата, содержащего лигнин, трепел и остаточные пивные дрожжи на рост растений кукурузы, при добавлении в субстрат для выращивания.

Ключевые слова: гидролизный лигнин, сорбент, микроорганизмы.

N. A. LAMAN¹, T. V. SAMOVICH¹, E. N. OLESHUK¹,
P. A. NEBYSHINETS¹, I. N. ANANYEVA², Z. M. ALESCHENKOVA²

PROSPECTS FOR USING HYDROLYSIS LIGNIN AS A CARRIER FOR OBTAINING FREE-FLOWING FORMS OF MICROBIAL PREPARATIONS

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

²*Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: ananeva_irina@mail.ru*

Abstract. The paper describes a method for utilizing hydrolyzed lignin – a high-tonnage waste from the biotechnological industry – by employing it as a microbial sorbent. The optimal amount of lignin and mixing conditions with microbial preparations and yeast cells (in the form of residual brewer's yeast) were selected to minimize the drying time of finished preparations containing lignin and microorganisms. A stimulating effect of a preparation containing lignin, diatomite, and residual brewer's yeast on the growth of maize plants was established when added to the cultivation substrate.

Keywords: hydrolysis lignin, sorbent, microorganisms.

ВВЕДЕНИЕ

В составе растительной ткани преобладают целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. Древесина хвойных пород содержит примерно 23–38% лигнина, в то время как лиственные породы от 14 до 25%, а солома злаков примерно 12–20% от мас-

сы. Лигнин – одно из основных веществ древесины, сложный (сетчатый) ароматический природный полимер. Содержится в клеточных стенках, а также в пространстве между клетками, скрепляя волокна целлюлозы. Совместно с гемицел-

люлозами лигнин обеспечивает механическую прочность стебля. Благодаря лигнину достигается герметичность клеточных стенок, а вследствие наличия красителей в лигнине древесина имеет свой характерный цвет.

Гидролизный лигнин (ГЛ) – сложная смесь веществ гидролитического распада древесных остатков, содержащих лигнин, часть трудногидролизуемых полисахаридов (12–30% по сухому весу) [2], редуцирующих веществ (моносахариды, фурфурол), смолы, зольные элементы (1–9% по сухому весу), остатки серной (0,5–2%) и органических (в основном уксусной, муравьиной) кислот.

Гидролизный лигнин, как побочный продукт производства, образуется после завершения процесса гидролитического разложения (варки) в основном хвойного древесного сырья в гидролиз-аппаратах в присутствии слабого раствора серной кислоты (0,5–0,6% в дрожжевом производстве и 0,7–0,85% в спиртовом производстве). Выход его составляет 48–72% от массы исходного сырья [1, 2]. ГЛ относится к числу крупных техногенных отходов, он накапливается вблизи гидролизных заводов, что требует кардинальных решений по его утилизации. Больших затрат требует вывоз лигнина за пределы предприятия. Нахождение путей применения лигнина помогает решать важную задачу утилизации отходов и защиты окружающей среды от загрязнения. Актуальность этой проблемы подтверждается также тем, что природный лигнин как сырьевой источник практически неисчерпаем.

Существующие в настоящее время методы использования ГЛ нельзя считать рациональными и научно обоснованными. Одним из наиболее простых способов его утилизации является сжигание. ГЛ характеризуется теплотворной способностью, составляющей у абсолютно сухого лигнина 5500–6500 ккал/кг. Теплотворная способность лигнина с уровнем влажности 18–25% достигает 4400–4800 ккал/кг, а у лигнина с уровнем влажности 65% этот показатель составляет лишь 1500–1650 ккал/кг. Структура частиц гидролизного лигнина – это не плотное тело, а развитая система микро- и макропор.

Утилизация вторичных ресурсов – проблема в значительной степени экологическая. Политика охраны окружающей среды от загрязнения, основанная на обезвреживании отходов, должна уступить место ресурсосбережению, основанному на комплексном использовании сырья, максимальном вовлечении в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов.

Проблема утилизации ГЛ в Республике Беларусь существует с момента создания гидролиз-

ного производства (г. Бобруйск, г. Речица). В 2026 г. Бобруйскому заводу биотехнологий исполнилось 90 лет. За время функционирования данных гидролизных производств в отвалах по различным данным его накопилось от 4 до 7 млн т [1].

Несмотря на огромную, эколого-экономическую значимость проблемы использования ГЛ, он, в основном, вывозился в отвалы, а перерабатывалось или сжигалось только около 5% [5]. Первоначальная стратегия утилизации ГЛ была направлена на то, чтобы найти возможность его использования в сельском хозяйстве [6, 7, 8]. В дальнейшем, когда изменился характер и объемы гидролизного производства, основные направления исследований сосредоточились на включении отходов в биологический круговорот с учетом агроэкологических последствий их применения [9, 10, 11]. Большое значение в этих исследованиях уделяется изучению биотрансформационных процессов гумусообразования. Однако участие продуктов трансформации лигнина в роли физиологически активных регуляторов и их включение в динамику биопродукционного процесса еще недостаточно изучены.

Применение лигнина обусловлено его свойствами. Наиболее востребованные сферы использования лигнина: изготовление активированных углей; сорбентов для очистки городских и промышленных стоков, а также для разлитых нефтепродуктов или тяжелых металлов; медицинские и ветеринарные сорбенты; порообразование в процессе изготовления кирпича и прочих керамических материалов. В этой сфере лигнин применяют в качестве заменителя опилок или древесной муки; лигнин является сырьем для производства нитролигнина, который снижает вязкость глинистых растворов, используемых при бурении скважин; на основе лигнина создаются органические и органо-минеральные удобрения, структурообразователи для естественных и искусственных почв, гербициды для возделывания бобовых культур [12].

Оценивая перспективы использования ГЛ, авторы [7, 8] отмечали, что одним из наиболее перспективных направлений является применение лигнина в сельском хозяйстве в натуральном виде, в качестве компонента компостов и продуктов его деструкции. Перспективно крупнотоннажное использование ГЛ в сельском хозяйстве в качестве органического удобрения (в натуральном виде), органо-минерального удобрения (в смеси с минеральными компонентами или отходом микробиологической промышленности – отработанной культуральной жидкостью после ферментации микроорганизмов, или в смеси с различными минеральными веществами после компостирова-

ния – биогумус), лигностимулирующего удобрения (после модификации путем окислительной деструкции различными способами с одновременным обогащением азотом и микроэлементами). Применение удобрений на основе гидролизного лигнина обеспечивает:

- улучшение физических свойств почвы и условий развития сапрофитных грибов;
- создание рыхлого поверхностного слоя, обеспечивающего оптимальный водно-воздушный обмен;
- активирование процессов нитрификации в почве;
- пролонгированное действие, создающее условия для удерживания питательных веществ (благодаря высокой адсорбционной способности лигнина) и их постепенного потребления корневой системой растений и препятствующее их быстрому вымыванию атмосферными осадками и почвенными водами;
- ускорение роста и прибавку урожая сельскохозяйственных растений (например, внесение лигнина в смеси с аммиаком или мочевиной повышает урожайность озимой ржи на 16–17%, лигностимулирующего удобрения в количестве 0,4 т/га приводит к приросту урожая картофеля на 15–30%) [2].

В настоящее время изучены вопросы техногенного загрязнения окружающей среды отходами гидролизных и биохимических заводов в общем звене агробиоценоза, проведены комплексные исследования способов получения и использования в растениеводстве удобрений и отходов этих заводов [7, 13]. Также показана высокая эффективность лигнина, удобрений на его основе и биопрепаратов для улучшения агрофизических свойств почв [14, 15]. Кроме того, исследовано изменение содержания питательных веществ в растениях, почве и продукции в зависимости от применения лигниновых удобрений в сравнении с традиционными органическими и минеральными удобрениями [16, 17]. Изучено влияние лигниновых удобрений на плодородие дерново-подзолистых почв [7, 14, 18, 19]. Переработка отходов гидролизных предприятий на удобрения способствовала пополнению резерва органических удобрений, замыкая цикл в использовании ценной части возобновляемой древесины, а также формированию экологически чистых зон, вместо свалок этих отходов. Для включения лигниновых удобрений в почвообразовательный процесс определены оптимальные дозы (50–100 т/га). При увеличении доз свыше 100–200 т/га наступало усиление минерализации гумуса [14]. Дана прогнозная энергетическая оценка использования органического вещества ГЛ в качестве удобрений с целью получения возобновляемой

энергии (фитомассы) в качестве сравнения с его использованием в качестве топлива [7]. Законченные исследования по использованию лигниновых удобрений под различные сельскохозяйственные культуры, выполненные в условиях преимущественно северо-западного [7, 18] района Нечерноземной зоны России, и разработка методологии использования вторичных ресурсов [14] подводят итог проблеме изучения ГЛ как отхода производства, прежде всего с основных – агроэкологических позиций. Это решение проблемы оптимизации включения в сельскохозяйственное производство многотоннажных отходов путем их обогащения и трансформации в сочетании с другими органическими и минеральными компонентами. Основным объектом изучения в этих всесторонних исследованиях служил не сам лигнин, а его участие в составе удобрений, например при смешивании лигнина с птичьим пометом.

Одним из перспективных способов утилизации ГЛ может быть его использование в качестве сорбента [20–26]:

- для утилизации нефтеотходов может быть использован гидрофобизированный по специальной технологии ГЛ (Лигносорб). При определенном соотношении лигнин/нефтепродукт образуется твердая композиция, которая может быть переработана в гранулированную массу, топливные брикеты или пеллеты, пригодные для сжигания, вследствие достаточно высокой теплотворной способности и отсутствия токсичных топочных газов [23–24];

- проведены исследования возможности снижения окисления липидов в кормах с помощью сорбентной кормовой добавки, которая разработана на основе гидролизного лигнина для устранения микотоксинов у животных и птиц [27, 28]. Для выполнения поставленной цели проводили эксперименты по хранению рыбной муки и кормов с добавлением сорбента. При хранении рыбной муки с 1% и кормов с 0,5 и 1,5% добавки отмечено снижение активности окислительных процессов в липидах. При завершении опытов уровень гидроперекисей липидов в кормах с добавкой был ниже, чем в контрольном корме на 30–39% и кислотные числа на 10–15%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что испытываемая сорбентная добавка, введенная в рыбную муку и в корма, замедляет окисление липидов. Включение сорбента в корма не отразилось на интенсивности роста рыб [3].

- организован выпуск медицинского препарата полифепана на основе ГЛ, обладающего высокими сорбционными свойствами. Медицинский лигнин имеет высокую адсорбционную способность по отношению к различным микроорганизмам – носителям инфекционных заболеваний.

На основе ГЛ получены новые лечебные препараты билигнинны, которые селективно адсорбируют желчные кислоты и 3-липопротеиды [26].

Если учесть большие природные запасы, лигнин может быть ценным, перспективным химическим сырьем, однако его использование в настоящее время пока весьма ограничено [29].

Положительные свойства гидролизного лигнина:

- высокое содержание: С – 54–58%; Н – 6,0%; О – 35,8–40,0%;

- высокая сорбционная способность благодаря пористой структуре и содержанию функциональных групп: $-\text{OCH}_3$ – 11,7%; $-\text{CO}$ – 3,2%; $-\text{OH}$ – 6,8%; $-\text{COOH}$ – 1,1–1,5%;

- способность сорбировать анионы SO_4^{2-} , Cl^- ;

- гумус образующий потенциал;

- благоприятные водно-физические свойства (способность поглотить до 50% воды от массы);

- отсутствие токсичности.

Недостатки гидролизного лигнина:

- низкое содержание макро- и микроэлементов и их малая доступность как удобрения для растений;

- состав золы лигнина: SiO_2 – 93,4%, Al_2O_3 – 1%, P_2O_5 – 1,5%, K_2O – 0,3%, CaO – 1,5%, MgO – 0,3%, Na_2O – 0,3%;

- бедность микрофлорой, обусловленная его высокой устойчивостью к разложению;

- кислая реакция.

Использование гидролизного лигнина в качестве сорбента микроорганизмов

Особенности структуры лигнина позволили провести ряд экспериментов, где лигнин выступал в качестве сорбента микроорганизмов, при этом они сохраняли свою биологическую активность и были защищены от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Рядом исследователей [30] установлено, что модифицированный лигнин может являться эффективным сорбентом микроорганизмов, сохраняющих высокую биологическую активность за счет иммобилизации. Было рассчитано, что такой подход позволит увеличить общее содержание и доступность азота, и содержание фосфора в почве на 70,8% и 64,4% соответственно.

Другой группой ученых показано [31], что микроорганизмы создают на поверхности ГЛ биопленки, что может благоприятствовать восстановлению эродированных почв, благодаря вовлечению органического вещества в структуру почв, вследствие соответствующих функциональных воздействий иммобилизованных микроорганизмов.

ОБЪЕКТЫ (МАТЕРИАЛЫ) И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Институте экспериментальной ботаники НАН Беларуси совместно с Институтом микробиологии НАН Беларуси выполняется в настоящее время проект, целью которого является разработка способа использования ГЛ в качестве носителя для микроорганизмов в процессах получения сыпучих форм биопрепаратов длительного хранения. Сорбент – ГЛ, основные свойства и возможности использования которого описаны ранее, получен в виде препарата «Лигносорб» на Бобруйском заводе биотехнологий. Мобилизуемые агенты – микроорганизмы, входящие в состав микробного препарата «Биотилия», а также дрожжевые грибы (остаточные пивные дрожжи – ОПД), входящие в состав производственного отхода ОАО «Пивоваренная компания Аливария». Трепел взят в качестве структурообразователя, а также минеральной добавки. Ниже приведены характеристики микробных препаратов, описание ОПД и трепела, а также предварительные результаты.

Трепел как компонент природного происхождения для включения в состав биопрепаратов на основе гидролизного лигнина

В настоящее время в сельском хозяйстве используют такие цеолитсодержащие породы, как трепелы, опоки, мергели, диатомиты, бентониты,

ломониты и др. Трепел (опал-кристобалитовая порода) обладает хорошими адсорбирующими свойствами, которые обусловлены высокой пористостью, большой удельной поверхностью и ионно-обменными свойствами [32–34]. *Название* от немецкого «трепел»; группа – полускальные; тип по вещественному составу – кремнистые. *Цвет*: светло-серый, сероватый, желтоватый, реже темно-серый. *Структура*: тонкозернистая, скрытокристаллическая. *Текстура*: однородная, слоистая, тонкопористая. Состоит из мельчайших зёрен опала, глинистых минералов, кварца и др.; эта горная порода по физико-химическим свойствам аналогична диатомиту (отличается от него отсутствием органических остатков) и поэтому визуально отличить его от диатомита невозможно. На ощупь мягкий, очень лёгкий, тонкопористый (впитывает воду и кислоту); на вид – землистые агрегаты (минеральный состав – кремнистые минералы), на стекле остается порошок светлой окраски и редкие царапины – отличие от опок, аргиллитов, алевролитов; впитывает соляную кислоту без реакции – отличие от мела, известняков, мергелей. Образуется при осаждении кремнистых водорослей в морских бассейнах.

В сухом состоянии – это очень лёгкий порошок, хороший природный сорбент. Во всем мире

известны крупные залежи трепела – Южная Африка, США, Россия. Трепел Могилевской области Республики Беларусь отличается по своим свойствам от всех известных аналогов значительным содержанием кальцита, вследствие чего его часто называют карбонатным.

Объем залежей карбонатного трепела – более 30 млн. тонн. Площадь месторождения – 500 га. Карьер расположен в 7 км от г.п. Хотимск. Трепел (полиминерал), имеющий уникальные природные возможности, сформировался более 40 млн. лет назад. Глубина залегания трепела – 3–5 м.

Месторождение «Стальное» природных трепелов, находящееся в Хотимском районе Могилевской области, подготовлено к промышленному освоению и является крупнейшим и единственным в Республике Беларусь [33]. Из природного трепела для различных направлений использования производится продукция следующего фракционного состава: 0–1 мм, 1–3 мм, 3–5 мм, 5–9 мм.

Сельскохозяйственная отрасль – одна из наиболее обширных отраслей, использующих трепел. Применение цеолитсодержащих пород в сельском хозяйстве увеличивается с каждым годом [35]. Используют трепел практически во всех областях народного хозяйства, в том числе при производстве кормов и кормовых добавок.

Основным преимуществом комбикормов и кормовых смесей, изготавливаемых с добавлением трепела, является содержание в структуре трепела около 40 макро- и микроэлементов, каждый из которых жизненно важен для животных и птиц. При добавлении минералов в рацион повышается их жизнестойкость и иммунитет.

Трепел поддерживает в пищеварительном тракте минеральный баланс и оптимальную кислотность, выводит ядовитые вещества. Рекомендуемое количество трепела в качестве кормовой добавки способствует повышению среднесуточных привесов живой массы, увеличению яйценоскости, сокращению расходов кормов, повышению воспроизводительных функций. Все это возможно за счет биологической активности, адсорбционных и катионообменных свойств трепела, заключающихся в выводе из организма аммиачного азота, тяжелых металлов, токсинов. Это в свою очередь влечет улучшение перевариваемости и усвояемости кормов. Трепел также предохраняет корма в процессе хранения от плесени и слеживания.

Вторая по популярности область, где используется трепел – удобрения органического состава и производство субстратов [36].

Внесение трепела в кислую почву, несколько нейтрализует нитрат аммония, в плане кислотно-

сти и в процессе адсорбции связывает аммонийный азот, и удерживает его в таком состоянии длительное время. Этим самым, не давая ему подавлять нитрат аммония, и его положительное воздействие на урожайность. К тому же трепел и схожие с ним добавки, содержат необходимые для почвы микроэлементы.

Трепел используется также при производстве почвенных субстратов, которые применяют при искусственном озеленении и выращивании декоративной растительности, в частности, в домашнем цветоводстве. Для этого его смешивают с торфом или сапропелем. Благодаря составу микро- и макроэлементов применение трепела в качестве добавки к удобрениям обогащает плодородие почв [37].

Трехлетнее возделывание пшеницы яровой, овса и люпина узколистного на дерновоподзолистой легкосуглинистой почве с внесением трепела в полной и половинной дозах выявило тенденцию снижения перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерно исследуемых культур [38].

Дрожжевые грибы

Одним из побочных продуктов процесса пивоварения являются остаточные пивные дрожжи. Количество микробной биомассы зависит от нескольких факторов, включая условия ферментации, такие как аэрация, температура, pH, концентрация инокулята и жизнеспособность клеток. Тип микроорганизма и качество пивного сусла также оказывают влияние на состав ОПД [39].

Дрожжи, используемые в пивоварении, можно разделить на две основные категории: дрожжи верхового брожения «элевые» (*Saccharomyces cerevisiae*) и дрожжи низового брожения «лагерные» (*Saccharomyces pastorianus* и *Saccharomyces carlsbergensis*). В конце ферментации дрожжи отделяются от основной жидкости с помощью процесса флокуляции. Дрожжевые клетки собираются, образуя хлопья, которые поднимаются вверх (при верховом брожении) или оседают на дне сосуда (при низовом брожении).

Технология производства пива приводит к образованию значительного количества побочных продуктов и отходов. Фактически, на каждый гектолитр пива образуется около 14–19 кг пивной дробины, 0,2–0,4 кг горячего осадка и 2–4 кг ОПД. В настоящее время, согласно политике рециклинга, внимание сосредоточено на возможностях использования отходов и побочных продуктов как вторичных материальных ресурсов [40, 41].

Необходимость переработки ОПД обусловлена огромной пищевой ценностью данного продукта благодаря уникальному биохимическому составу этих организмов. Для человека они служат источником аминокислот, минералов, витаминов, ферментов и многих других полезных ве-

ществ, необходимых для роста и укрепления иммунной системы. Сухое вещество пивных дрожжей имеет следующий химический состав: массовая доля белков и азотистых веществ составляет 54–56%, липидов и липоидов – 2–3%, гликогена – 24–40%; неорганических веществ – 5–10%. В 100 г прессованных дрожжей влажностью 75% содержится 13% углеводов, около 0,45 мг витамина В1, 2,07 мг витамина В2, 28,2 мг никотинамида, 11–12 мг витамина В6. Аминокислотный состав пивных дрожжей по большинству незаменимых аминокислот приближен к уровню, рекомендуемому ФАО/ВОЗ, что говорит о высокой биологической ценности этого сырьевого источника [42]. В настоящее время ОПД частично используются в производстве добавок в корма для животных, биологически активных добавок.

Установлено, что наиболее богатым естественным источником витаминов группы В являются пивные дрожжи, в которых тиамин содержится в 10 раз больше по сравнению с гидролизными дрожжами, но их использование в рыбоводстве в качестве удобрения сдерживается высокой стоимостью [43]. Отходы производства пивных дрожжей (ОПД) дешевле самих пивных дрожжей в 85 раз, в их состав входят компоненты, необходимые для развития и роста гидробионтов. Так, в 1 кг суспензии ОПД содержится 2,0 г фосфора и 118 г сырого протеина. Содержание витаминов в ОПД является достаточно высоким для того, чтобы интенсифицировать рост и развитие гидробионтов, а также повысить их сопротивляемость к заболеваниям. В свою очередь, концентрация витаминов в воде прудов опреде-

ляет продуктивность многих массовых видов зоопланктона и тем самым оказывает сильное воздействие на кормовую базу гидробионтов [44]. Обязательная потребность водорослей, гидробионтов и фильтраторов в витаминах группы В удовлетворяется за счёт внесения в пруды отходов пивоваренных заводов, богатых особенно витамином В1 – тиамин [44]. Важное экологическое значение тиамина состоит в том, что он может влиять на изменение видового состава зоо- и фитопланктона водоема [43]. Исследования, проведенные на выростных прудах и посвящённые изучению таксономического состава фитопланктона прудов, удобряемых ОПД в дозе 200 и 400 кг/га и минеральными удобрениями в дозах 150 кг/га аммиачной селитры и 150 кг/га суперфосфата, показали, что внесение ОПД способствует расширению видового состава определённых отделов водорослей.

Дрожжи – превосходный источник протеинов, что делает их важным компонентом вегетарианских блюд. В связи с этим возникает необходимость в разработке технологии переработки ОПД на пищевые цели, которая позволила бы более полно и рационально использовать составные компоненты этого сырья.

Использование ОПД в рационе питания поможет удовлетворить потребности человека и животных в белках, витаминах, аминокислотах, минеральных веществах. В составе таких препаратов – фолиевая кислота, источником которой для организма служит в основном мясная пища. Фолиевая кислота участвует в процессе синтеза ДНК при делении клеток и благотворно влияет на детородную функцию (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав пивных дрожжей

Table 1. Chemical composition of spent brewer's yeast

Химический состав	Содержание	Суточная потребность человека
Витамины	мг/100 г биомассы	в мг/1 кг массы тела
В1	0,8	1,5
В2	5,0	1,7
В6	3,6	2,0
РР	29,4	У мужчин 16–28, у женщин 14–20
Аминокислоты	г/1 кг в с.в.	в мг/1 кг массы тела
Лизин	41,5	12,0
Метионин	8,0	3,5
Треонин	29,0	7,0
Изолейцин	29,6	10,0
Минеральные вещества	мг/1 кг	в мг/1 кг массы тела
Fe	560	10
Cu	64	2–3
Mn	80	2–5
Zn	109	15

Большая часть витаминов, содержащихся в пивных дрожжах, являются водорастворимыми, поэтому они не накапливаются в организме. Эта добавка значительно улучшает самочувствие при авитаминозе и гиповитаминозе.

Дрожжи можно использовать в качестве добавки при производстве хлебобулочных, кондитерских изделий, мясных продуктов, соусов, детского питания. Остаточные пивные дрожжи чаще всего перерабатывают с получением дрожжевых экстрактов (автолизатов) или гидролизатов.

Микробные препараты

На современном рынке представлен ряд препаративных форм: сухая (в основном для препаратов на основе спорообразующих бактерий рода *Bacillus*), пастообразная или сгущенная биомасса клеток, гели и др. [45–48]. Однако наибольшее распространение получила жидкая форма препаратов, представляющая собой культуральную жидкость с клетками агента установленного титра, без стабилизаторов и консервантов. Такая форма, несмотря на ряд недостатков, заключающихся, прежде всего, в небольшом сроке хранения, неудобстве транспортировки, нестабильности свойств и т.д. [47, 49], наименее трудо- и энергозатратна, не требует дополнительного оборудования и денежных вложений.

Основные проблемы, сдерживающие широкое использование большинства микробных препаратов, заключаются в отсутствии удобных для применения, технологичных в производстве и недорогих препаративных форм на основе хозяйственно ценных микроорганизмов. Культивирование и длительное сохранение последних в живом виде связано с определенными технологическими сложностями. Наиболее экономична жидкая форма микробных препаратов, поскольку ее производство позволяет упростить процесс изготовления за счет исключения стадий подготовки субстратов и их инокуляции. Однако жидкая форма препаратов имеет короткий срок хранения (до 3-х месяцев) [48].

Известно, что важную роль в биологической эффективности микробных препаратов имеют товарная форма и наличие в препаратах веществ, улучшающих его физико-химические характеристики, сохраняющих основные технологические свойства, защищающих от УФ-лучей и окисления кислородом воздуха. Поиски универсальных наполнителей весьма актуальны. В этой связи, создаются различные модификации одного и того же

биопрепарата, обеспечивающие их максимальную приспособленность для конкретных работ и регионов. Всевозможные добавки и комбинации различных биопрепаратов ещё больше увеличивают их номенклатуру [48].

Вместе с тем проблема пролонгирования сохранности жидких форм микробных препаратов может решаться с использованием носителей для микроорганизмов. Широкое применение получили препараты, которые изготавливаются путем смешивания суспензии бактерий со стерильным носителем, в роли которого используют различные дисперсные материалы. Носители микробных препаратов должны быть доступны по цене, иметь природное происхождение, либо легко разлагаться в почвенных условиях, не загрязняя окружающую среду. Они не должны быть токсичными и характеризоваться высокой водоудерживающей способностью, химической и физической однородностью, иметь pH, близкий к нейтральному, хорошо перемешиваться с культуральной жидкостью, стерилизоваться [50]. В определенной степени этим требованиям отвечают торф, почва, богатая перегноем и обогащенная древесным углем в соотношении 3:1, вермикомпост, приготовленный с использованием растительных остатков, навоза и отходов кофейного производства. В качестве носителей микробных препаратов используют и другие растительные и глинистые минералы, вермикулит, каолин, бентонит, перлит, сульфат кальция, полиакриламидный гель, альгинат [51–53].

Для получения иммобилизованных микробных клеток чаще всего используют простой и распространенный способ – абсорбционную иммобилизацию. Старейшие промышленные процессы, основанные на применении иммобилизованных клеток: производство уксуса, очистка сточных вод. Клетки естественным образом прикрепляются к поверхности, проникают между волокнами носителя или в поры, в зависимости от его структуры, и по мере роста образуют активную пленку. В зависимости от целей дальнейшего использования, носители с иммобилизованными клетками можно длительно хранить после предварительного подсушивания (при невысоких температурах если требуется сохранить клетки на носителе живыми, либо при повышенных, если требуется продукт для употребления и микробные клетки в данном случае служат источником питательных веществ) [54].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен ряд экспериментов по выяснению сорбционной емкости ГЛ (препарат «Лигносорб» Бобруйского завода биотехнологий), возможно-

сти смешения его с ОПД (ОАО «Пивоваренная компания Аливария»), эффективности прикрепления клеток дрожжей на носителе из ГЛ, и опре-

деления оптимального соотношения клеток дрожжевых грибов и носителя, обеспечивающего сыпучесть биопрепарата. Установлено, что Лигносорб можно смешивать с жидкостью в со-

отношении 1:1,5 и не более, чтобы обеспечить эффективное перемешивание при просушивании препарата, изначальное содержание влаги в смеси не должно превышать 55%.

Создание композиций на основе остаточных пивных дрожжей, гидролизного лигнина и природного минерала трепела Хотимского месторождения «Стальное»

В лабораторных условиях создано несколько композиций на основе отходов производств (лигнин, ОПД) и природного минерала (трепел). Эксперименты показали, что смешивание ГЛ с ОПД приводит к остановке процессов гниения и брожения, увеличивает площадь испаряющей поверхности в смеси, что способствует быстрому удалению влаги и образованию готовых сухих продуктов, которые сохраняют свои положительные свойства даже при длительном хранении. Данные смеси могут быть использованы также в качестве добавки для улучшения качества почвы или субстратов (табл. 2).

Смешивание лигнина и трепела с дрожжами (1:1). Базовая смесь (БС): Лигнин + Трепел (70% / 30% по массе). В базовую смесь добавлены остаточные пивные дрожжи такой же массы.

Смешивание лигнина и трепела с дрожжами (1:2). В готовую смесь (1:1) добавлено еще столько же остаточных пивных дрожжей. Все перемешивали, оставляли на просушку при комнатных условиях, периодически помешивая.

Характеристика созданных композиций препарата представлена в табл. 3.

Таблица 2. Состав и соотношение компонентов в композициях препаратов

Table 2. Composition and component ratios in the formulations

Вариант	БС:ОПД (1:1)	БС:ОПД (1:2)
Лигнин	35%	23,5%
Трепел	15%	10%
ОПД	50%	66,5%

Таблица 3. Характеристика композиций препаратов

Table 3. Properties of the product formulations

Вариант смеси	Сухое вещество при смешивании компонентов, %	pH	Электропроводность, μS
БС+ОПД (50/50)	71,7 $\pm$ 0,6	6,51 $\pm$ 0,3	804 $\pm$ 3,6
БС+ОПД (33,5/66,5)	83,4 $\pm$ 0,7	7,50 $\pm$ 0,4	1463 $\pm$ 4,8

Изучение способности клеток штаммов микроорганизмов, входящих в состав препарата «Биотилия», адсорбироваться на поверхности гидролизного лигнина

В последние годы в сельском хозяйстве растет спрос на использование биоудобрений, которые безопасны для окружающей среды. При этом биопрепараты для сельского хозяйства чаще всего имеют жидкую товарную форму, срок хранения которой не более 3-х месяцев. Решением пролонгирования сроков хранения является иммобилизация микроорганизмов на поверхности твердофазных носителей. Известно, что у бактериальных клеток в иммобилизованном состоянии повышается адаптивный потенциал, устойчивость к действию неблагоприятных факторов внешней среды, проявляется высокая каталитическая активность. При этом матрицы для иммобилизации могут быть как органическими, так и неорганическими. Главными критериями выбора носителя являются его инертность (не токсичность) в отношении иммобилизуемых организмов, большая площадь поверхности, механическая стабильность, способность к регенерации; кроме того, носитель должен обеспечивать

максимальную проницаемость системы, а производство препаратов на его основе быть рентабельным.

В связи с ранее сказанным, нами выбран ГЛ в качестве носителя для иммобилизации и проведены исследования по изучению способности клеток штаммов *Rhodococcus jostii* БИМ В-1353 Д и *Priestia megaterium* БИМ В-1314 Д, входящих в состав микробного удобрения «Биотилия», адсорбироваться на поверхности гидролизного лигнина (табл. 4).

Исследования по изучению способности клеток штаммов *Rhodococcus jostii* БИМ В-1353 Д и *Priestia megaterium* БИМ В-1314 Д (прежнее название *B. megaterium* БИМ В-1314 Д), входящих в состав микробного удобрения «Биотилия», адсорбироваться на поверхности образцов ГЛ, отобранных из мест складирования на Бобруйском заводе биотехнологий показали, что компоненты микробного удобрения эффективно на нем иммобилизуются. При нанесении на 5 грамм ГЛ

5 мл 2% раствора «Биотилия» (0,02 г «Биотилия» на грамм носителя) на поверхности носителя через 72 часа удерживается 0,3 грамма клеток бактерий на грамм носителя, что свидетельствует о том, что клетки бактерий не только иммобилизуются на носителе, но и эффективно на нем развиваются. При иммобилизации на 5 грамм ГЛ 5 мл 5% (0,05 г «Биотилия» на грамм носителя) и 10% раствора «Биотилия» (0,1 г Биотилия» на грамм носителя) на поверхности ГЛ через 72 часа масса клеток препарата остаётся на прежнем уровне.

При иммобилизации микробного препарата «Биотилия» максимальное количество клеток бактерий прикрепляется на носителе при использовании 2% раствора препарата, обеспечиваю-

щего удержание на поверхности ГЛ 0,02 г «Биотилия» на грамм носителя.

Это позволяет сделать заключение, что наиболее технологичным является использование 2% препарата «Биотилия» в процессе иммобилизации бактерий на носителе из ГЛ с целью получения сыпучей формы микробного препарата.

В результате проведенных исследований установлено, что для обеспечения необходимой сыпучести микробных препаратов оптимальным и технологичным является использование 2% раствора микробного препарата «Биотилия» с титром жизнеспособных клеток не менее $1,0 \cdot 10^8$ КОЕ/мл и соотношением рабочего раствора микробных препаратов и носителя – 1:1.

Таблица 4. Эффективность иммобилизации компонентов микробного удобрения «Биотилия» на гидролизном лигнине

Table 4. Efficiency of microbial fertilizer "Biotiliya" component immobilization on the hydrolyzed lignin

Варианты опыта	Масса гидролизного лигнина + препарата, г		Масса препарата, г		Титр жизнеспособных клеток, КОЕ/г	
	0 часов	72 часа	0 часов	72 часа	0 часов	72 часа
2% «Биотилия»	10,1166	11,5585	5,1166	6,5585	$(2,86 \pm 0,05) \cdot 10^8$	$(2,51 \pm 0,08) \cdot 10^7$
5% «Биотилия»	10,3460	10,1789	5,2730	5,2059	$(3,19 \pm 0,31) \cdot 10^8$	$(2,17 \pm 0,16) \cdot 10^7$
10% «Биотилия»	10,4183	10,8147	5,0283	5,4247	$(4,30 \pm 0,06) \cdot 10^8$	$(1,56 \pm 0,04) \cdot 10^7$

Влияние смеси на основе лигнина, трепела и остаточных пивных дрожжей на рост и развитие растений кукурузы в условиях водного дефицита

Создание сыпучего препарата на основе лигнина и ОПД является одной из целей выполняемого проекта. Однако разработчики продумывают и возможные пути использования полученного продукта. Так известно, что ГЛ слабо разлагается и поэтому отвалы на производстве только растут. ГЛ на выходе из перерабатывающих цехов является практически стерильным в плане микробиоты. Тем не менее, при внесении некоторых количеств ГЛ в почву можно повысить ее плодородие, поскольку обитающие в почве микроорганизмы хотя и медленно, но разлагают лигнин. Чаще всего это микроскопические грибы, относящиеся к лигнолитической группе, ферменты которых – марганец зависимые пероксидазы (MnP, ЕС 1.11.1.13) и лакказы (полифенолоксидаза, Lcc, ЕС 1.10.3.2) осуществляют деструкцию лигнина [55]. Кроме того, ведется поиск микроорганизмов, которые осуществляют биоконверсию лигнина в гуминовые кислоты не только в короткие сроки, но и с заданными свойствами [56].

Проведен ряд экспериментов по внесению оптимального количества созданного лигнин-дрожжевого препарата в субстрат для выращивания растений. Выяснили, что для овощных растений это количество составляет не более 30%, по-

скольку для прорастания семян на ранних стадиях не требуется значительных подкормок. При внесении больших количеств препарата семена либо не прорастали, либо проростки загнивали сразу после всходов.

Растения кукурузы более требовательны к питанию, в том числе на ранних стадиях, поэтому в эксперименте использовали 35% смеси (лигнин + трепел) + ОПД 1:1 (по сухому веществу) для добавления к стандартному торфогрунту «Двина». Кукурузу выращивали 14 суток, при освещенности 30000 люкс (световой период 14 ч света – 10 ч темноты), и температуре $23 \pm 1^\circ\text{C}$. Некоторые варианты опыта помещены в условия возрастающего дефицита влаги, из исходных 70% влажности почвы к концу эксперимента оставалось 30%. Контролем служил торфогрунт «Двина» без добавок.

Кукуруза, выращенная в оптимальных условиях с добавлением экспериментальной смеси с ОПД на 14 сутки, статистически не отличалась от контроля. Варианты, испытывающие дефицит влаги, по высоте ниже контрольных на 40%, масса снижалась на 70%, относительное содержание воды в листьях около 74%. Содержание сухого вещества при водном дефиците в листьях

на 10% больше в варианте с ОПД, чем в контроле (табл. 5, рис. 1). Внешний вид растений в контроле и в вариантах с добавлением в почву экспериментальной смеси не отличался, морфометрические показатели были схожи, однако влияние смеси с ОПД на развитие корневой системы у кукурузы оказалось существенным (рис. 2).

Содержание пигментов в листьях растений кукурузы определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [57–59]. Во всех вариантах при дефиците влаги содержание пигментов составило около 70% по отношению к контролю. При нормальном поливе в вариантах с ОПД наблюдали тенденцию к увеличению содержания фотосинтетических пигментов (рис. 3), что свидетельствует о лучших условиях роста исследуемых растений.

В связи с расчетом количества пигментов на сухой вес, при водном дефиците априори при равных навесках сырой массы, сухой будет больше. Поэтому сравнивать в данном случае можно только варианты в равных условиях: контроль с вариантом модифицированного грунта, засуха в контроле и засуха в варианте с модифицированным грунтом. Соответственно, если в вариантах с модифицированным грунтом при нормальном поливе увеличивалось количество практически всех фотосинтетических пигментов по сравнению с контролем, то при дефиците влаги наблюдали статистически не достоверное, но снижение их количества, что может свидетельствовать о структурных перестройках в растительных тканях, и снижении количества пигментов как потенциальных источников фотоповреждений, либо же расходование их в защитных реакциях (каротиноиды). Когда растение испытывает любой сильный стресс,

зачастую количество феофитина возрастает. В наших экспериментах феофитина в растениях с дефицитом влаги на модифицированном грунте стало меньше, что может быть связано со снижением количества хлорофилловых пигментов в этом варианте, как его предшественников.

Таким образом, полученные данные указывают, что растения кукурузы, выросшие в оптимальных условиях на субстрате, содержащем смесь с остаточными пивными дрожжами, отличаются более высокими показателями содержания фотосинтетических пигментов, более развитой корневой системой по сравнению с растениями, выросшими на торфогрунте «Двина». При водном дефиците ожидаемый стимулирующий эффект также достигнут, что выразилось в изменении качественного состава и количества пигментов.

Тем не менее, мы не можем утверждать, что внесенное количество препарата лигнина с остаточными пивными дрожжами в торфогрунте достаточное. Для оптимального результата и максимальной защиты при стрессе, а также получения стимулирующего эффекта на растениях кукурузы, необходимое количество препарата будет определено в дальнейших исследованиях.

Таблица 5. Влияние условий засухи на содержание сухого вещества в листьях кукурузы
Table 5. Influence of drought stress on corn leaf dry matter accumulation

№ варианта	Сухой вес, %
Контроль, норма	10,32±0,31
Контроль, засуха	13,95±0,27
Контроль + (БС+ОПД), норма	10,81±0,37
Контроль + (БС+ОПД), засуха	15,46±0,88

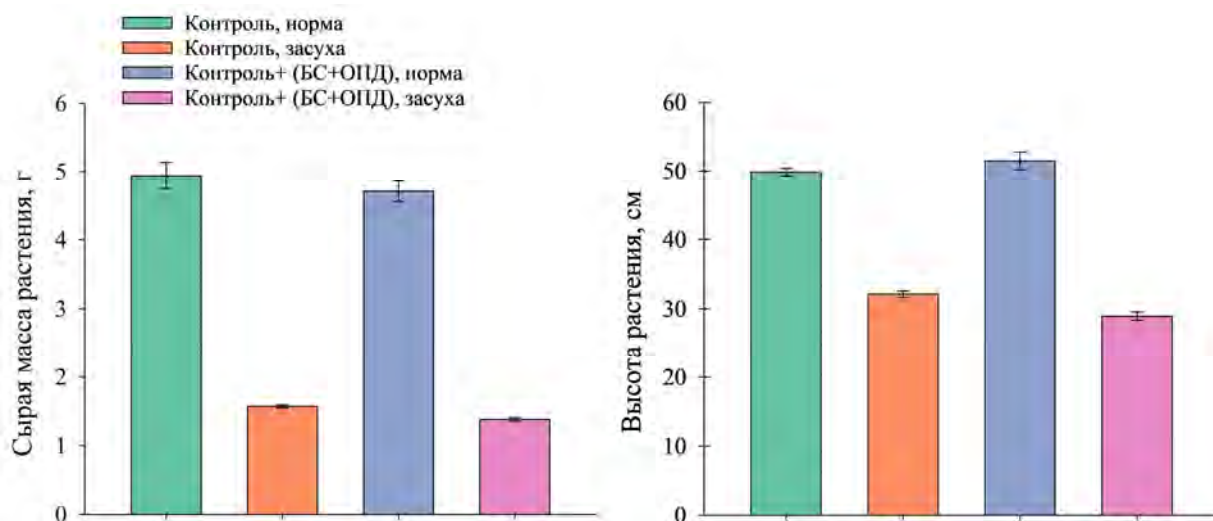


Рис. 1. Влияние смеси с остаточными пивными дрожжами на высоту и массу растений кукурузы

Fig. 1. Influence of a mixture containing spent brewer's yeast on corn plant height and weight

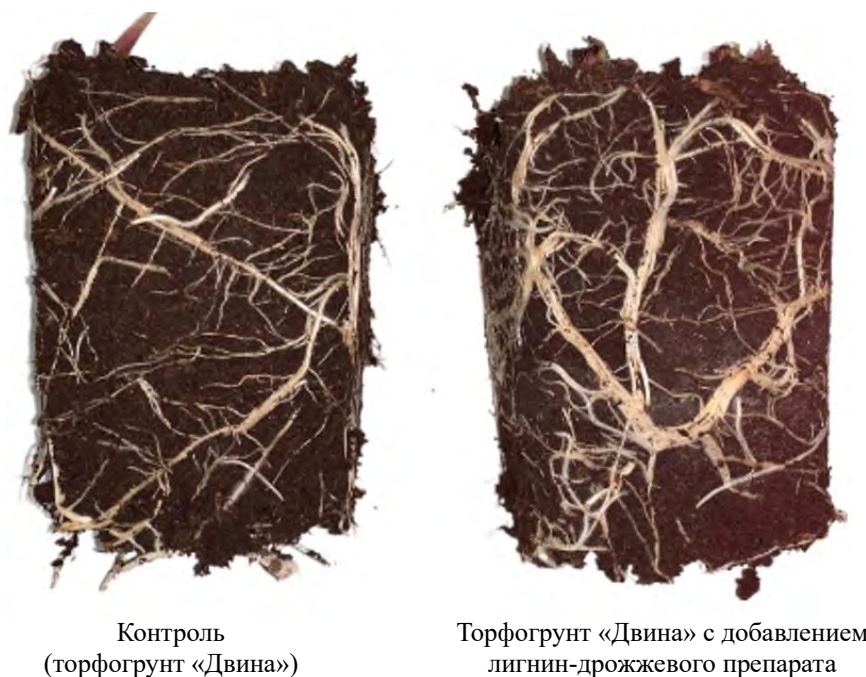


Рис. 2. Влияние смеси с остаточными пивными дрожжами на развитие корневой системы у кукурузы в субстрате

Fig. 2. Influence of a mixture containing spent brewer's yeast on corn root system development in the substrate

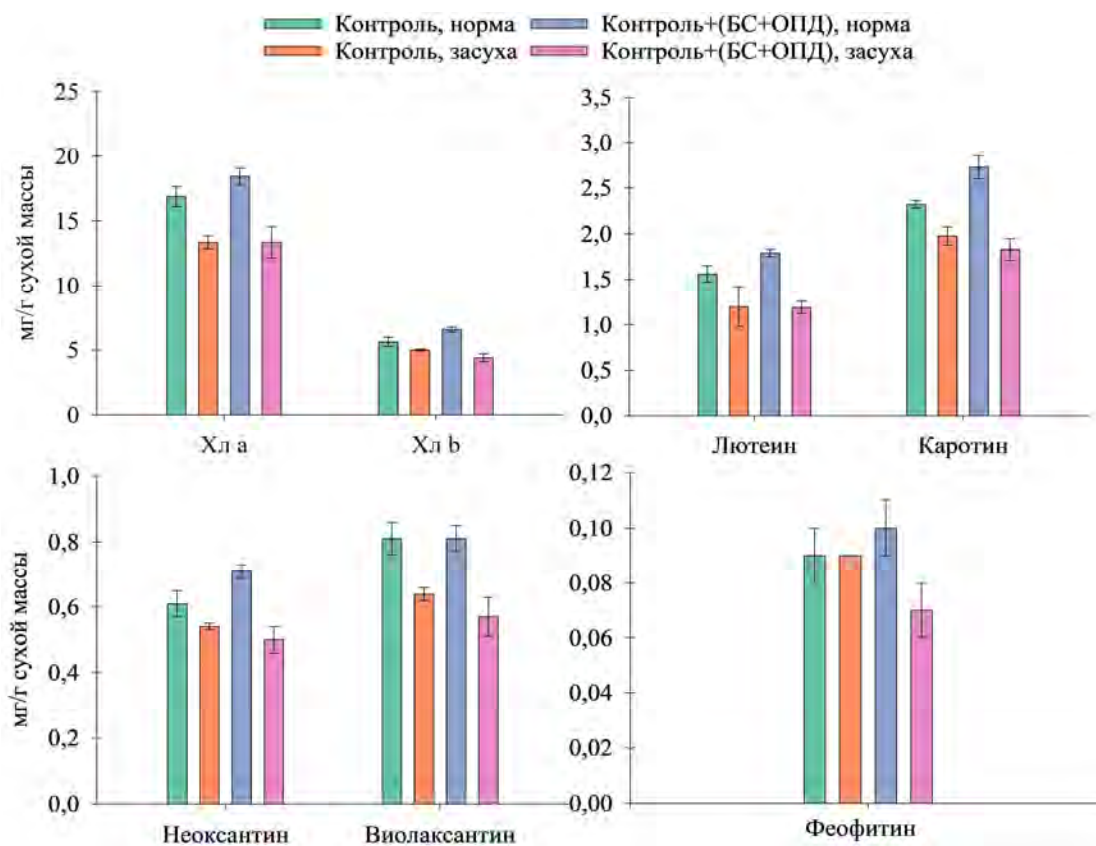


Рис. 3. Влияние смеси с остаточными пивными дрожжами на содержание фотосинтетических пигментов в условиях засухи

Fig. 3. Influence of a mixture containing spent brewer's yeast on photosynthetic pigment content under drought stress

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен ряд экспериментов по выяснению сорбционной емкости гидролизного лигнина (препарат «Лигносорб» Бобруйского завода биотехнологий), возможности его смешения с остаточными пивными дрожжами (ОАО «Пивоваренная компания Аливария»), эффективности прикрепления клеток дрожжей на носителе из гидролизного лигнина и определения оптимального соотношения жидкого компонента препарата – остаточные пивные дрожжи и носителя – гидролизного лигнина, обеспечивающее получение рассыпчатой не липкой формы смеси, с целью дальнейшей ее сушки. Установлено, что «Лигносорб» можно смешивать с остаточными пивными дрожжами в соотношении 1:1,5 и более, однако, чтобы обеспечить дальнейшее эффективное просушивание влажность полученной смеси должна быть не более 55%. Приготовлены препараты на основе «Лигносорба», трепела и остаточных пивных дрожжей. Показано стимулирующее влияние добавления экспери-

ментального препарата в основной грунт при выращивании растений кукурузы.

В результате проведенных исследований установлено, что для обеспечения необходимой сыпучести микробных препаратов оптимальным и технологичным является использование 2% раствора микробного препарата «Биотилия» с титром жизнеспособных клеток не менее $1,0 \cdot 10^8$ КОЕ/мл и соотношением рабочего раствора микробных препаратов и носителя – 1:1.

Планируется, что подбор оптимального количества лигнина и условий смешивания позволит получить наибольший эффект в процессах ферментации, а также минимизирует время сушки готовых препаратов, содержащих лигнин и микроорганизмы, при дополнительной разработке методов формования и хранения готовых препаратов. Это позволит решить проблему длительного сохранения жизнеспособности микробных клеток, существенно увеличив срок годности биопрепаратов без потери их целевой активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плышевский, С. В. Экологические и технологические аспекты утилизации гидролизного лигнина в Республике Беларусь / С. В. Плышевский, А. Л. Ковш, С. А. Астрейко // *Экология на предприятии*. – 2017. – № 3 (69). – С. 84–96.
2. Болтовский, В. С. Состав гидролизного лигнина из отходов ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» и рациональные направления его использования / В. С. Болтовский // *Труды БГТУ*. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – С. 105–108.
3. Влияние модифицированного гидролизного лигнина на перекисное окисление липидов в рыбных кормах и на выращиваемых на них рыб / И. Н. Остроумова, А. А. Лютиков, А. К. Шумилина, М. М. Вылка // *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. – 2022. – Т. 16, № 8 (199). – С. 560–572.
4. The use of lignin as a microbial carrier in the co-digestion of cheese and wafer waste / A. A. Pilarska, A. Wolna-Marukwa, K. Pilarski [et al.] // *Polymers*. – 2019. – Vol. 11, no. 12. – P. 2073–2092.
5. Чудаков, М. И. Промышленное использование лигнина / М. И. Чудаков. – 3-е изд., доп. – М. : Лесная промышленность, 1983. – 200 с.
6. Абдурахманов, А. А. Эффективность использования лигнина при мелиорации шоховых засоленных почв Центральной Ферганы : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / А. А. Абдурахманов. – Ташкент, 1985. – 200 л.
7. Иванова, Р. Г. Урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции при использовании лигниновых удобрений в условиях Нечерноземной зоны РСФСР : дис. ... докт. с.-х. наук : 06.01.04 / Р. Г. Иванова. – Л.-Пушкин, 1991. – 441 с.
8. Страхов, В. Л. Лигнин на удобрение / В. Л. Страхов // *Земледелие*. – 1990. – № 8. – С. 58.
9. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
10. Орлов, Д. С. Агроэкологические аспекты использования нетрадиционных органических удобрений на основе гидролизного лигнина / Д. С. Орлов, Я. М. Аммосова, О. С. Якименко // *Почвоведение*. – 1993. – № 2. – С. 36–44.
11. Чеботарев, Н. Т. Использование помето-лигнинового компоста для удобрения дерново-подзолистой почвы и выращивания многолетних трав / Н. Т. Чеботарев, И. Н. Хмелинин, В. М. Швецова // *Агрохимия*. – 2001. – № 5. – С. 33–37.
12. Дейнеко, И. П. Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы / И. П. Дейнеко // *Химия растительного сырья*. – 2012. – № 1. – С. 5–20.
13. Отчет об оценке воздействия на окружающую среду объекта «Площадка для хранения и сушки лигнина в районе д. Деражня Речицкого района Гомельской области» : [Электронный ресурс]. – URL: http://www.files.rechit-sa.by/arhitecture/obh_obsugd_2021_legnin.pdf (дата доступа: 05.04.2026).

14. Хмелинин, И. Н. Эколого-биологические основы включения гидролизного лигнина в почвообразование / И. Н. Хмелинин, В. М. Швецова. – СПб. : Наука, 2000. – 143 с.
15. Комаров, А. А. Роль гидролизного лигнина в плодородии почв и питании растений : автореф. дис. ... док. с.-х. наук : 06.01.03 / А. А. Комаров ; Агрофиз. науч.-исслед. ин-т. – СПб., 2004. – 44 с.
16. Комаров, А. А. Закрепление нитратного азота в почве за счет гидролизного лигнина / А. А. Комаров // *Aspecte ecologice ale folosirii si protecției resurselor de sol din Moldova : Tezele referatelor conferinței republicane / Inst. de Cercetări pentru Pedologie și Agrochimie «N. Dimo»*. – Chișinău, 1990. – № 1. – С. 102–103.
17. Комаров, А. А. Влияние различных способов нейтрализации гидролизного лигнина на продуктивность злаковых и бобовых растений / А. А. Комаров // *Гумус и азот в земледелии Нечерноземной зоны РСФСР : сб. науч. тр. / Ленингр. с.-х. ин-т ; редкол.: В. Н. Ефимов (отв. ред.) [и др.]*. – Л., 1987. – С. 71–75.
18. Якименко, О. С. Влияние гидролизного лигнина и компоста на его основе на некоторые свойства подзолистой почвы Юга Коми АССР : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.27 / О. С. Якименко ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 1991. – 204 л.
19. Якименко, О. С. Гуминовые вещества лигнокомпоста и его влияние на свойства среднеподзолистой почвы / О. С. Якименко, Д. С. Орлов, Я. М. Амосова // *Агрохимия*. – 1995. – № 9. – С. 17–24.
20. Чистяков, А. В. Методы синтеза углеродных сорбентов из лигнина (обзор) / А. В. Чистяков, М. В. Цодиков // *Журнал прикладной химии*. – 2018. – Т. 91, № 7. – С. 949–967.
21. Способ получения пасты «полифепан» из гидролизного лигнина : пат. 2440125 Рос. Федерация : МПК А61К 36/00, А61К 31/715, А61Р 33/00 / Н. А. Халецкий, Д. Д. Савельев ; заявитель ЗАО «САЙНТЕК». – № 2010146374/15 ; заявл. 15.11.2010 ; опубл. 20.01.2012 // *Изобретения. Полезные модели*. – 2012. – № 2. – 7 с.
22. Способ получения гранулированного гидролизного лигнина : пат. 2124521 Рос. Федерация : МПК C07G 1/00, C10L 5/44 / В. Н. Павлечко, В. А. Короткевич, П. Л. Фалюшин ; заявители В. Н. Павлечко, В. А. Короткевич, П. Л. Фалюшин. – № 96118804 ; заявл. 23.09.1996 ; опубл. 10.01.1999 // *Изобретения. Полезные модели*. – 1999. – № 1. – 4 с.
23. Сорбенты на основе активированного угля и гидролизного лигнина: структура, свойства, применение / Т. А. Савицкая, Т. Н. Нева, Н. Г. Цыганкова [и др.] // *Свиридовские чтения : сб. ст. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: О. А. Ивашкевич (предс.) [и др.]*. – Мн., 2015. – Вып. 11. – С. 132–143.
24. «Лигносорб» – новый эффективный природный сорбент для нефти и нефтепродуктов / Д. Д. Гриншпан, Н. Г. Цыганкова, С. М. Чевелева [и др.] // *Наука, инновации, инвестиции : сборник мат-лов 2-го Белорусско-Латвийского форума, Минск, 11–12 дек. 2014 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Мн. : БНТУ, 2014. – С. 70–72*.
25. Минич, М. И. Получение углеродсодержащих сорбентов в качестве альтернативного способа переработки лигнинсодержащих отходов / М. И. Минич, А. А. Спицын // *Химическая безопасность*. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 240–249.
26. Симонова, В. В. Методы утилизации технических лигнинов / В. В. Симонова, Т. Г. Шендрик, Б. Н. Кузнецов // *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. – 2010. – Vol. 3, no. 4. – P. 340–354.
27. Адсорбция микотоксинов техническими лигнинами / З. А. Канарская, К. Л. Косарев, А. М. Морозов [и др.] // *Химия растительного сырья*. – 2011. – № 1. – С. 59–63.
28. Способ получения кормовой добавки для профилактики микотоксикозов у животных и птицы : пат. 2502319 Рос. Федерация : МПК А23К 1/16, А23Р 1/02, А61К 36/06, А23К 1/00, А23К 1/175, А23К 1/20 / К. Л. Косарев, А. М. Морозов, А. Ш. Набиуллин, С. Д. Румянцев ; заявитель ООО «БИОВЕТ-ФЕРМЕНТ». – № 2012127163/13 ; заявл. 29.06.2012 ; опубл. 27.12.2013 // *Изобретения. Полезные модели*. – 2013. – № 36. – 23 с.
29. Передерий, С. Биотопливо из отходов гидролизных заводов / С. Передерий // *ЛесПромИнформ*. – 2021. – № 3 (157). – С. 108–113.
30. Феофилова, Е. П. Лигнин: химическое строение, биodeградация, практическое использование (обзор) / Е. П. Феофилова, Е. С. Мысякина // *Прикладная биохимия и микробиология*. – 2016. – Т. 52, № 6. – С. 559–569.
31. Application potential of modified waste-lignin as microbial immobilization carriers to improve soil fertility / J. Yang, S. Xing, W. Yang [et al.] // *Reactive and Functional Polymers*. – 2024. – Vol. 196. – P. 105837.
32. Valorization of Lignin as an Immobilizing Agent for Bioinoculant Production using *Azospirillum brasilense* as a Model Bacteria / V. R. Tapia-Olivares, E. A. Vazquez-Bello, E. Aguilar-Garnica [et al.] // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24, no. 24. – P. 1–8.
33. Трепел месторождения «Стальное» Хотимского района Могилевской области в кормлении молодняка крупного рогатого скота / В. М. Голушко, А. И. Козинец, М. А. Надаринская [и др.] // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. – 2013. – № 3. – С. 94–100.
34. Стрельчик, Н. В. Вещественный состав и происхождение известковистых силицитов месторождения Стальное (Республика Беларусь) / Н. В. Стрельчик // *Полезные ископаемые Беларуси: геология месторождений и рациональное недропользование : сб. науч. тр. / Ин-т геол. наук НАН Беларуси. – Мн., 2003. – С. 122–124*.
35. Автушко, М. И. Об эффективности использования карбонатных трепелов месторождения «Стальное» в сельскохозяйственном производстве / М. И. Автушко, Е. Г. Сарасеко, Н. В. Стрельчик // *Природные ресурсы : межведомственный бюллетень / Нац. акад. наук Беларуси, М-во природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь. – Мн., 2006. – № 4. – С. 32–41*.
36. Что такое трепел? Свойства трепела. Применение трепела : [Электронный ресурс]. – URL: <https://tvoiuvelirr.ru/chto-takoe-trepel-svoystva-trepela-primenenie-trepela/> (дата доступа: 03.11.2025).
37. Рахманова, Г. Ф. Комплексное действие трепела на систему «семена–растение–почва» / Г. Ф. Рахманова, И. А. Дегтярева, Е. А. Прищепенко // *Агрохимический вестник*. – 2023. – № 4. – С. 62–66.

38. Трепел как компонент удобрений : [Электронный ресурс]. – URL: <https://apknews.su/article/213/4597/> (дата доступа: 03.11.2025).
39. Мерзлова, О. А. Влияние цеолитсодержащего мелиоранта трепела на биологическую доступность радионуклидов растениям / О. А. Мерзлова, Т. П. Шапшеева, Т. Н. Агеева // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2003. – № 2. – С. 45–49.
40. Пивоваренная продукция. Термины и определения : ГОСТ 29018-2021. – М. : Российский институт стандартизации, 2021. – 12 с. – Введ. 01.07.2026.
41. Новые удобрения из пивных отходов готовятся стать органической подкормкой для ячменя : [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/novye-udobrenija-iz-pivnyh-othodov-gotovjatsja-stat-organicheskoi-podkormkoi-dlja-jachmenja.html> (дата доступа: 03.11.2025).
42. Дадашев, М. Н. Разработка новых путей безопасной утилизации отходов перерабатывающих и добывающих отраслей промышленности / М. Н. Дадашев, В. А. Крупнов // Мониторинг. Наука и технологии. – 2018. – № 4 (37). – С. 80–84.
43. Некрылов, Н. М. Биомасса остаточных пивных дрожжей как источник пищевых и биологически активных веществ / Н. М. Некрылов, И. А. Глотова, Т. А. Парфенова // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8, ч. 2. – С. 319.
44. Использование остаточных пивных дрожжей в рыбоводстве // Сучасні проблеми природничих наук : мат-ли IV Всеукр. студент. наук. конф., Ніжин, 22–23 квітня 2009 р. / Ніжин. держ. ун-т ім. М. Гоголя ; редкол.: Г. Г. Сенченко (голова) [и др.]. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2009. – С. 142–143.
45. Козлов, А. И. Влияние остаточных пивных дрожжей на продуктивность фито- и зооценозов рыбоводных прудов / А. И. Козлов, Т. В. Козлова // Международный технико-экономический журнал. – 2011. – № 1. – С. 49–55.
46. Курдиш, И. К. Гранулированные микробные препараты для растениеводства: наука и практика / И. К. Курдиш. – К. : КВІЦ, 2001. – 142 с.
47. Интродукция азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий – способ усиления действия жидкого гуминового удобрения, стимулирующего рост растений / З. М. Алещенкова, С. Л. Максимова, И. Н. Ананьева [и др.] // Вермикомпостирование и культивирование как основа экологического земледелия в XXI веке: достижения, проблемы, перспективы : сб. науч. тр. V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–18 июня 2021 г. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси ; редкол.: С. Л. Максимова [и др.]. – Мн., 2021. – С. 53–55.
48. Саламатова, Ю. А. Эффективность хранения ряда бактериальных препаратов в жидкой форме / Ю. А. Саламатова, О. М. Минаева, Е. Е. Акимова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2010. – № 1 (9). – С. 20–28.
49. Феклистова, И. Н. Новый способ продления срока хранения биопрепаратов Немацид и Ауриин / И. Н. Феклистова, Д. В. Маслак, И. В. Можарова, Л. В. Тугаринов // Вестник БГУ. Сер. 2, Биология. – 2010. – № 3. – С. 66–70.
50. Терещенко, Н. Н. Проблемы и перспективы применения бактериальных препаратов в сельскохозяйственной практике / Н. Н. Терещенко // Томский агровестник. – 2004. – № 2. – С. 39–46.
51. Агротехнические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия / А. П. Кожемяков, Ю. В. Лактионов, Т. А. Попова [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 3. – С. 369–376.
52. Чернопольская, Н. Л. Научное обоснование выбора биополимеров в качестве носителя для иммобилизации пробиотических микроорганизмов / Н. Л. Чернопольская // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : сборник II Всерос. (нац.) науч. конф., Новосибирск, 25 дек. 2017 г. / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск : ИЦ «Золотой колос», 2017. – С. 315–319.
53. Петрова, С. Н. Микробные препараты как способ формирования эффективных растительно-микробных систем / С. Н. Петрова, Н. В. Парахин // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2013. – № 2 (6). – С. 86–91.
54. Выросткова, Д. В. Материалы (носители), используемые для иммобилизации микроорганизмов при биодеструкции углеводородов нефти в водной среде / Д. В. Выросткова // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : сборник докладов Всерос. науч. конф., Белгород, 23–27 окт. 2023 г. / Белгород. гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2023. – С. 134–138.
55. Крякунова, Е. В. Применение иммобилизованных микроорганизмов и ферментов / Е. В. Крякунова, А. В. Канарский // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 17. – С. 101–105.
56. Ильюшин, В. А. Обнаружение активности лигнолитических ферментов у микромицетов угольных отвалов в условиях Арктики (Шпицберген) / В. А. Ильюшин, И. Ю. Кирцидели // Биотехнологии микроорганизмов : мат-лы науч.-практ. конф., Минск, 27–29 нояб. 2019 г. / Ин-т микробиологии НАН Беларуси. – Мн., 2019. – С. 71–73.
57. Прутенская, Е. А. Микробиологическая конверсия растительных отходов в гуминовые вещества : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.07 / Е. А. Прутенская ; Твер. гос. техн. ун-т. – Москва, 2008. – 20 с. : ил.
58. Каляга, Т. Г. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя сорта Бровар / Т. Г. Каляга, Н. В. Козел // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. – 2020. – № 3. – С. 46–53.

59. Forni, E. HPLC separation and fluorimetric estimation of chlorophylls and pheophytins in fresh and frozen peas / E. Forni, M. N. Ghezzi, A. Polesello // *Chromatographia*. – 1988. – Vol. 26, no. 1. – P. 120–124.

60. Milenković, S. V. The identification of chlorophyll and its derivatives in the pigment mixtures: HPLC-chromatography, visible and mass spectroscopy studies / S. V. Milenković // *Advanced Technologies*. – 2012. – Vol. 1, no. 1. – P. 16–24.

Поступила в редакцию 13.05.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ламан Николай Афанасьевич – академик Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Самович Татьяна Викторовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Олешук Евгений Николаевич – научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Небышинцев Полина Алексеевна – научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Ананьева Ирина Николаевна – кандидат биологических наук, доцент, заведующая лабораторией взаимоотношений микроорганизмов почвы и высших растений Государственного научного учреждения «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси»

Алещенкова Зинаида Михайловна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории взаимоотношений микроорганизмов почвы и высших растений Государственного научного учреждения «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси»

Перспективы использования гидролизного лигнина в качестве носителя для получения сыпучих форм микробных препаратов / Н. А. Ламан, Т. В. Самович, Е. Н. Олешук [и др.] // *Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во.* – Мн., 2026. – Вып. 57. – С. 202–216.

УДК 571.27:632.4:632.938

Н. А. ЕЛОВСКАЯ, Ж. Н. КАЛАЦКАЯ

НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ПРОЦЕССОВ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: yalouskaya92@mail.ru*

Аннотация. В условиях роста потребности в высококачественной сельскохозяйственной продукции и негативных экологических последствий применения химических пестицидов актуальной становится разработка экологически безопасных препаратов нового поколения. Перспективным направлением является использование природного биополимера хитозана и его нанокompозитов с металлическими наночастицами. Хитозан обладает ростостимулирующими, иммуномодулирующими и антимикробными свойствами, а применение в виде нанокompозитов с металлами, в частности серебром, обеспечивает повышенную биологическую активность, допускает более широкий диапазон использования молекулярных масс, позволяет формировать композиты с новыми или более широкими защитными свойствами, снижает общую токсичность для агроэкосистем. В частности, нанокompозиты хитозан-серебро демонстрируют как прямую вируцидную активность, так и высокую эффективность в активации врожденного иммунитета растений против вирусных инфекций. Они функционируют как стимуляторы, запускающие сложные сети гормональных взаимодействий и экспрессию защитных генов. Тем не менее, для коммерциализации таких препаратов требуется дальнейшее изучение конкретных молекулярных механизмов и сигнальных маршрутов их взаимодействия с растительными клетками. Таким образом, интеграция нанотехнологий и биополимеров открывает новые горизонты в защите растений, требуя междисциплинарных исследований для перехода от лабораторных разработок к реальным полевым применениям.

Ключевые слова: хитозан, наночастицы, серебро, нанокompозиты, антивирусная активность, иммунитет.

N. A. YALOUSKAYA, J. N. KALATSKAJA

CHITOSAN-BASED NANOCOMPOSITES AS ECO-FRIENDLY REGULATORS OF PLANT ANTIVIRAL RESISTANCE

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: yalouskaya92@mail.ru*

Abstract. Given the growing demand for high-quality agricultural products and the negative environmental impacts of chemical pesticides, the development of a new generation of environmentally safe formulations has become a pressing priority. A promising direction is the use of the natural biopolymer chitosan and its nanocomposites with metal nanoparticles. Chitosan possesses growth-stimulating, immunomodulatory, and antimicrobial properties, and its use in the form of nanocomposites with metals, particularly silver, provides enhanced biological activity, allows for a wider range of molecular weights, enables the formation of composites with new or broader protective properties, and reduces overall toxicity to agroecosystems.

In particular, chitosan-silver nanocomposites exhibit both direct virucidal activity and high efficacy in activating plants' innate immune response against viral infections. They function as stimulators that trigger complex networks of hormonal interactions and the expression of defense genes. Nevertheless, the commercialization of such formulations requires further study of the specific molecular mechanisms and signaling pathways involved in their interaction with plant cells. Thus, the integration of nanotechnology and biopolymers opens new horizons in plant protection, requiring interdisciplinary research to transition from laboratory developments to real-world field applications.

Keywords: chitosan, nanoparticles, silver, nanocomposites, antiviral activity, immunity.

ВВЕДЕНИЕ

Рост населения, сокращение площадей пахотных земель и увеличение потребности в высококачественной сельскохозяйственной продукции требуют разработки новых эффективных подхо-

дов к защите растений и повышению урожайности культур. В настоящее время борьба с фитопатогенами, насекомыми-вредителями и сорной растительностью в значительной степени осно-

вана на применении химических пестицидов. Несмотря на их высокую эффективность, быстроту действия и высокую доступность, многократное и несистемное использование агрохимикатов сопровождается серьезными экологическими последствиями, включая загрязнение окружающей среды, накопление токсичных соединений в продукции и почве, уничтожение полезной микрофлоры, а также формирование устойчивых популяций патогенов. В связи с этим возрастает необходимость создания экологически безопасных препаратов нового поколения, обладающих комплексным действием и минимальным негативным воздействием на агроэкосистемы.

Одним из наиболее перспективных направлений является использование природных биологически активных соединений и нанотехнологий для повышения устойчивости растений к биотическим стрессам. Особое внимание уделяется разработке препаратов двойного действия, способных одновременно стимулировать рост и развитие растений и активировать механизмы их врожденного иммунитета. Среди таких соединений важное место занимает хитозан – природный биополимер, обладающий ростостимулирующими, иммуномодулирующими, антиоксидант-

ными и антимикробными свойствами. Хитозан и его производные способны индуцировать защитные реакции растений, изменять активность генов, связанных с устойчивостью, и повышать адаптационный потенциал культур.

Дополнительные возможности открывает применение нанотехнологий и создание нанокompозитов на основе хитозана и металлических наночастиц. Наночастицы могут использоваться как самостоятельные средства защиты растений, так и в качестве носителей биологически активных веществ и агрохимикатов. Использование таких систем обеспечивает контролируемое высвобождение действующих компонентов, повышение их стабильности и растворимости, снижение токсичности и уменьшение загрязнения окружающей среды. Кроме того, наноструктурированные препараты способны повышать эффективность доставки активных веществ в ткани растений и обеспечивать пролонгированное защитное действие против вирусных, бактериальных и грибных инфекций.

В статье проанализированы современные данные об эффективности применения и механизмах действия нанокompозитов на основе хитозана и серебра.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Хитозан в основной цепи содержит три различные реакционноспособные функциональные группы, включая амино- ($-NH_2$), первичные гидроксильные ($-OH$) и вторичные карбоксильные ($-COOH$) группы, которые наряду с полисахаридной природой самого полимера позволяют проводить широкий спектр их химических модификаций без вмешательства в полимерную цепь [1], что предоставляет возможность создавать новые биофункциональные производные хитозана [2, 3]. Различные видоизменения хитозана не только улучшают его существующие свойства, в том числе гидрофильность, биосовместимость, антимикробную активность, но и придают ему новые специфические качества [4].

Активное развитие нанотехнологий привлекало внимание к хитозану, позиционируя его как востребованную матрицу для создания наночастиц и нанокompозитов. Синергия хитозана и нанотехнологий открывает огромные перспективы и возможности для сельского хозяйства и защиты растений.

Наночастицы, обладая уникальными физико-химическими свойствами, могут выступать в роли многофункциональных инструментов в агропромышленном комплексе [5]. Исключительные качества наночастиц, включая их наноразмер в пределах 1–100 нм и повышенная химическая

активность, обуславливают их способность к множественным взаимодействиям с различными соединениями органической и неорганической природы [6].

Серебряные наночастицы широко используются в сельскохозяйственном секторе благодаря своим характеристикам. Наночастицы серебра (НЧ Ag) прямо воздействуют на патоген и косвенно (как элиситор) – на растение.

Адсорбционный эффект НЧ Ag особенно выражен в отношении вирусов: наночастицы взаимодействуют либо с поверхностным белком, либо с вирусной оболочкой, нарушая взаимодействие вируса с клеточными рецепторами и предотвращая атаку вируса на клетку. Соединение НЧ Ag с вирусом вызывает высвобождение ионов серебра. Эти ионы инактивируют вирус, взаимодействуя с вирусными белками или нуклеиновыми кислотами, тем самым подавляя репликацию вирусов. Поверхность НЧ Ag активирует кислород и способствует синтезу активных форм кислорода (АФК), которые окисляют вирус, повреждая его структуру [7, 8].

В работе [9] показано, что наночастицы серебра практически полностью подавляют вирус желтой мозаики фасоли, при этом активируется связанный с патогенезом ген PR-1 и выработка защитных окислительных ферментов. Авторы

считают, что НЧ Ag способны связываться с вирусными частицами за счет своей высокобиореактивности и подавлять их репликацию и накопление в тканях.

Обработка растений огурца НЧ Ag за 24 ч до и после инфицирования снижала степень инфицированности вирусом мозаики огурца на 92 и 86% соответственно. При этом наблюдалось значительное увеличение уровней экспрессии генов, связанных с патогенезом (PR-1 и PR-5) и генов полифенольного пути, а также усиление общей активности антиоксидантных ферментов – полифенолоксидазы (ПФО), супероксиддисмутазы (СОД) и общей пероксидазы (ПО) и накопление вторичных метаболитов (фенолов и флавоноидов) [10].

Биоцидный эффект связан с нарушением работы мембранных белков патогена, что приводит к его гибели, а при взаимодействии с клеточной стенкой растений активируется синтез АФК и запускаются сигнальные реакции, формирующие системную приобретенную устойчивость [11].

Однако в исследованиях показано, что НЧ Ag проявляют токсическое действие и на растения, так при окислении НЧ Ag с образованием ионов серебра Ag^+ создается высокая локальная концентрация [12]. Ионы Ag^+ способны ингибировать дыхательные ферменты и вызывать окислительный стресс за счет образования АФК [13]. Кроме того, ионы Ag^+ могут проникать в цитозоль, нарушать работу транспортных белков и изменять мембранный потенциал, что приводит к дестабилизации мембраны и апоптозу [14, 15]. При проникновении в растительную клетку НЧ Ag могут взаимодействовать с серо- и фосфорсодержащими соединениями, нарушая процесс деления [14, 16].

Проникающая способность наночастиц (НЧ) зависит от их размера: так, НЧ диаметром 6 нм, покрытые гуммиарабиком, ингибировали прорастание семян и развитие корневой системы, тогда как частицы диаметром 20 нм с покрытием из поливинилпирролидона не влияли на прорастание, но положительно действовали на скорость роста подземной и надземной части растений [17]. Это позволяет предположить, что токсический эффект более мелких частиц связан с их способностью легче проникать в клетку, что подтверждается увеличением токсичности НЧ Ag по отношению к *Arabidopsis thaliana* при уменьшении их диаметра [18].

Предположительно, ключевым механизмом воздействия НЧ Ag на растительные организмы является стимуляция генерации АФК [19–23] и последующая индукция активности антиоксидантных ферментов [24, 25]. Образующиеся

АФК, в свою очередь, повреждают тилакоидные мембраны и ультраструктуру хлоропластов. Это приводит к нарушениям в процессе фотосинтеза и метаболизма, конечным результатом чего становится угнетение роста растений [26].

С другой стороны НЧ Ag взаимодействуют с гормональными сетями растений, модулируя физиологические реакции, опосредованные абсцизовой кислотой, ауксином и этиленом. На молекулярном уровне НЧ Ag, как показано на примере с арабидопсисом, активируют экспрессию генов, вовлеченных в клеточную пролиферацию, метаболизм и гормональную сигнализацию [27, 28]. Это включает индукцию генов сигнального пути абсцизовой кислоты (NCED3, RD22), а также ауксин-зависимого гена IAA8. Синтез ауксина может дополнительно усиливаться за счет индукции генов, подобных JAL у эруки посевной (*Eruca sativa*), которые участвуют в высвобождении предшественников ауксина [29, 30]. Совокупность этих молекулярных событий – активация генов роста, ингибирование сигнального пути этилена и потенцирование синтеза/сигналинга ауксина – приводит к значительному повышению уровня фитогормонов, стимулирующих рост. Параллельно НЧ Ag вмешиваются в сигнальный путь этилена, действуя как ингибитор его восприятия и, вероятно, биосинтеза. При этом данное ингибирование схоже с действием ионов Ag^+ , вытесняющими ионы Cu^+ из активных центров рецепторов этилена, блокируя тем самым передачу сигнала.

Исследование на фасоле (*Phaseolus vulgaris* L.) показало, что обработка растений НЧ Ag, стабилизированных гуммиарабиком, в концентрации 10 ppm приводит к усилению вегетативного роста и повышению урожайности, и сопровождается изменениями белковых профилей в тканях растений [31].

С использованием НЧ Ag связан и ряд существенных проблем, таких как производственные сложности, потенциальная токсичность для организмов и загрязнение почвенных экосистем [32–34].

Для расширения областей применения, уменьшения биоаккумуляции серебра и минимизации токсического воздействия НЧ Ag на растения эти наночастицы всё чаще комбинируют с другими материалами, получая биметаллические, сплавные и структуры типа «ядро-оболочка» (core-shell структура), где ядро составляет металл (Ag), а оболочку – биополимер (например, хитозан) [35, 36].

Синтез таких наноматериалов рекомендуется проводить с использованием «зеленых» методов, поскольку в этом процессе не применяются

агенты, которые могут быть токсичны для здоровья или окружающей среды [37, 38].

НЧ металлов, инкапсулированные в матрицу природных полимеров, таких, как хитозан способны усиливать свои характеристики или приобретать принципиально новые свойства. В таких композициях биополимер выступает в роли стабилизатора, формируя координационные связи с металлом, что позволяет контролировать размер, форму и стабильность НЧ [39]. Указанные нанокompозиты часто демонстрируют улучшенную механическую прочность, термическую стабильность, барьерные свойства и другие функциональные возможности, что делает их пригодными для широкого спектра применений [40], а также могут улучшать рост растений и защищать их от патогенов. Помимо этого, НЧ и нанокompозиты могут проникать в растения через наноразмерные поры и ионные каналы, а дальнейший транспорт по растению осуществляется по плазмодесмам [41]. Сложность работы с такими нанокompозитами заключается в том, что их свойства и механизм воздействия на живые организмы определяются не только химическим составом, но и такими параметрами как диаметр частиц и концентрация компонентов [42]. Предполагается, что стабилизированные НЧ влияют на клеточный метаболизм, закрепляясь на мембране с помощью поверхностно-активного вещества или непосредственно проникая внутрь клетки.

Показано, что нанокompозиты хитозан-серебро проявляют антимикробную и фунгицидную активность. Антибактериальная активность в отношении *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* оценена при низкой концентрации наночастиц серебра на основе хитозана (НЧ Хит-Ag), которая составила 12,5 мкг/мл для обоих штаммов бактерий. Кроме того, НЧ Хит-Ag проявили перспективные противогрибковые свойства в отношении *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus terreus* и *Aspergillus niger*. Также НЧ Хит-Ag продемонстрировали потенциальную антиоксидантную активность [43].

В работе [44] НЧ Ag, покрытые хитозаном, продемонстрировали высокую фунгицидную активность в отношении *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor* и *Aspergillus brasiliensis*, при этом не были выявлены фитотоксические эффекты. Нанокompозиты эффективно ингибировали прорастание конидий *Colletotrichum gloeosporioides*, вызывающих антракноз манго [45].

Многочисленные исследования сообщают об индукции устойчивости растений к вирусной инфекции, опосредованной НЧ Хит-Ag. Предполагается, что НЧ Хит-Ag начинают действовать на

периферии клеток после контакта гликопротеином вируса на поверхности [46]. Далее они проникают в клетки растения-хозяина, нарушая клеточные факторы и/или вирусные белки, которые способствуют репликации вируса. Прямой эффект обусловлен электростатическим взаимодействием положительно заряженных НЧ с анионными участками вирусных частиц – фосфатными группами РНК и гликопротеинами оболочки (СР – coat protein) [47, 48], что приводит к их нейтрализации и подавлению начальной инфекции. Дополнительно, проникая в клетки, НЧ Хит-Ag могут ингибировать внутриклеточные этапы репликации вируса, нарушая, например, функцию вирусной полимеразы, тем самым блокируя образование новых вирионов. Так в работах [49, 50] показано, что использование НЧ Ag, стабилизированных хитозаном, в концентрации 200 ppm и от 0,1 до 0,4 мг/мл через 24 ч и сутки после инокуляции вируса мозаики люцерны значительно подавило его распространение. Одновременно НЧ Хит-Ag выполняют роль элиситоров, активируя многоуровневую защитную реакцию растения. Происходит стимуляция синтеза защитных ферментов (рибонуклеазы, протеазы) [51, 52] и накопление стресс-ассоциированных метаболитов – фенолов, пролина и капсаицина, что усиливает антиоксидантный потенциал и создает неблагоприятную биохимическую среду для патогена [49].

В работе [53] продемонстрировано опосредованное НЧ Хит-Ag усиление транскрипционной активности генов, кодирующих ключевые белки, участвующие в клеточном ответе на стресс и противовирусной защите. В частности, наблюдалась активация гена HSP90, кодирующего молекулярный шаперон Hsp90 (белок теплового шока 90). Шаперон Hsp90 играет фундаментальную роль в поддержании клеточного гомеостаза, обеспечивая правильную сборку и стабильность сигнальных белков, что критически важно для выживания клеток и передачи внутриклеточных сигналов. Параллельно зафиксировано повышение экспрессии гена AGO2a (argonaute 2a), кодирующего ключевой эффекторный белок комплекса РНК-интерференции (RNAi) и выполняющего центральную функцию в противовирусной защите, непосредственно участвуя в подавлении репликации вирусных патогенов посредством сайленсинга вирусной РНК.

Предполагаемый нами механизм защитного действия стабилизированных хитозаном НЧ Хит-Ag носит комплексный характер, объединяя прямое противовирусное воздействие с индукцией системной резистентности растения (рис.).



Рис. Предположительный механизм противовирусного действия наночастиц на основе хитозана и серебра

Fig. Proposed mechanism of the antiviral action of chitosan-silver nanoparticles

Хотя хитозан привлекает всё больше внимания как основа для экологически чистых пестицидов, гербицидов, удобрений и платформы для доставки различных полезных нагрузок, многое ещё предстоит изучить, прежде чем он станет широко используемым соединением. Необходимо провести дополнительные исследования, чтобы доказать, что хитозан и его производные действительно безопасны для биосферы, оценить их воздействие на окружающую среду и понять, как хитозан «перерабатывается» после применения в полевых условиях. Ещё одним препятствием для переноса препаратов на основе хитозана из лаборатории в поле является стоимость их крупномасштабного производства: несмотря на то, что основной «предшественник» хитозана – хитин – широко доступен, его последующая переработка для получения гомогенного препарата хитозана с желаемыми свойствами требует значительных затрат. Поиск новых источников хитозана и разработка технологий, позволяющих снизить затраты и увеличить объём его производства, является задачей высокой значимости

на пути к широкому применению этого полимера. С другой стороны, производные хитозана и наноматериалы на его основе могут решить эту проблему, поскольку (1) биологическая активность НЧ хитозана, вероятно, выше; (2) хитозан может быть основой для получения более активных производных; (3) диапазон молекулярных масс хитозана для получения гомогенного препарата НЧ хитозана может быть довольно широким; и (4) могут быть получены композитные НЧ на основе хитозана, дополненные металлами или другими полимерами, с новыми свойствами и более высокой эффективностью [54].

Таким образом, использование наночастиц на основе серебра и стабилизирующего биополимера является перспективной основой для создания multifunctional препаратов, обладающих ростостимулирующей и иммуномодулирующей активностью.

Вместе с тем сохраняется очевидная необходимость детального изучения молекулярно-клеточных механизмов их взаимодействия с растительными организмами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нанокompозитов на основе хитозана представляет перспективный способ для запуска защитных механизмов растительного организма против различных патогенов. Кроме того, нанокompозиты хитозан-серебро зарекомендовали себя как эффективные активаторы иммунитета растений против вирусов. Принято считать, что подавление вирусов обеспечивается главным образом неспецифическим ответом растений, однако конкретные механизмы и сигнальные маршруты остаются во многом невыясненными.

Нанокompозиты хитозан-серебро функционируют как стимуляторы, которые задействуют сложную сеть взаимодействий растительных гормонов. В многочисленных работах зафиксирована активация защитных генов и ферментов, участвующих в гормональном синтезе и сигнальных каскадах, что крайне затрудняет выделение одного ключевого эффекта при взаимодействии нанокompозитов с клеткой и определение того, какой именно путь отвечает за повышение устойчивости к фитопатогенам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Quaternary trimethyl chitosan chloride capped bismuth nanoparticles with positive surface charges: catalytic and antibacterial activities / Y. A. Alli, S. Adewuyi, B. S. Bada [et al.] // *Journal of Cluster Science*. – 2022. – Vol. 33, no. 6. – P. 2311–2324. – doi: 10.1007/s10876-021-02156-8.
2. Strategies for the Preparation of Chitosan Derivatives for Antimicrobial, Drug Delivery, and Agricultural Applications: A Review / R. Shrestha, A. Thenissery, R. Khupse, G. Rajashekara // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28, no. 22. – P. 7659. – doi: 10.3390/molecules28227659.
3. Polyelectrolyte Three Layer Nanoparticles of Chitosan/Dextran Sulfate/Chitosan for Dual Drug Delivery / F. Wang, J. Li, X. Tang [et al.] // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2020. – Vol. 190. – P. 110925. – doi: 10.1016/j.colsurfb.2020.110925.
4. Modification of chitosan using amino acids for wound healing purposes: a review / S. Torkaman, H. Rahmani, A. Ashori, S. H. M. Najafi // *Carbohydrate Polymers*. – 2021. – Vol. 258. – P. 117675. – doi: 10.1016/j.carbpol.2021.117675.
5. Leveraging triboelectric nanogenerators for bioengineering / S. Zhang, M. Bick, X. Xiao [et al.] // *Matter*. – 2021. – Vol. 4, iss. 3. – P. 845–887. – doi: 10.1016/j.matt.2021.01.006.
6. Advancements in bionanotechnological applications for climate-smart agriculture and food production / S. Otari, V. A. Bapat, J. Lakkakula [et al.] // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. – 2024. – Vol. 57. – P. 103117. – doi: 10.1016/j.bcab.2024.103117.
7. Silver nanoparticles as potential antiviral agents / S. Galdiero, A. Falanga, M. Vitiello [et al.] // *Molecules*. – 2011. – Vol. 16, iss. 10. – P. 8894–8918. – doi: 10.3390/molecules16108894.
8. The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications / S. Khan, M. Zahoor, R. Sher Khan [et al.] // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9, iss. 6. – P. e16928. – doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16928.
9. Silver nanoparticles as a viricidal agent to inhibit plant-infecting viruses and disrupt their acquisition and transmission by their aphid vector / A. Gamal, M. Tohamy, M. Abou-Zaid [et al.] // *Archives of Virology*. – 2022. – Vol. 167, no. 1. – P. 85–97. – doi: 10.1007/s00705-021-05280-y.
10. Ocimum basilicum-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles Induces Innate Immune Responses against Cucumber Mosaic Virus in Squash / A. Abdelkhalek, H. El-Gendi, F. Alotibi [et al.] // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, iss. 20. – P. 2707. – doi: 10.3390/plants11202707.
11. Препарат «Зерокс» на основе химически модифицированного высокодисперсного серебра как элемент эффективной борьбы с бактериальными и грибными эпифитотиями сельскохозяйственно значимых растений / П. М. Жеребин, А. Н. Игнатов, С. Н. Еланский [и др.] // *Защита картофеля*. – 2014. – № 2. – С. 43–45.
12. Абраменко, Н. Б. Исследование и моделирование токсического действия наночастиц серебра на гидробионтов : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Н. Б. Абраменко. – Москва, 2017. – 122 л.
13. Differential phytotoxic responses of silver nitrate (AgNO₃) and silver nanoparticle (AgNps) in *Cucumis sativus* L. / A. Tripathi, S. Liu, P. K. Singh [et al.] // *Plant Gene*. – 2017. – Vol. 11, pt. B. – P. 255–264. – doi: 10.1016/j.plgene.2017.07.005.
14. Nanomaterials in the environment: from materials to high throughput screening to organisms / C. R. Thomas, S. George, A. M. Horst [et al.] // *ACS Nano*. – 2011. – Vol. 5, no. 1. – P. 13–20. – doi: 10.1021/nn1034857.
15. Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening / A. Nel, T. Xia, H. Meng [et al.] // *Accounts of Chemical Research*. – 2013. – Vol. 46, no. 3. – P. 607–621. – doi: 10.1021/ar300022h.
16. Exogenous applications of bio-fabricated silver nanoparticles to improve biochemical, antioxidant, fatty acid and secondary metabolite contents of sunflower / S. U. Batool, B. Javed, S. S. Zehra [et al.] // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11, iss. 7. – P. 1750. – doi: 10.3390/nano11071750.
17. Effect of silver nanoparticles exposure on germination and early growth of eleven wetland plants / L. Yin, B. P. Colman, B. M. McGill [et al.] // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7, iss. 10. – P. e47674. – doi: 10.1371/journal.pone.0047674.

18. Phytostimulation of poplars and *Arabidopsis* exposed to silver nanoparticles and Ag⁺ at sublethal concentrations / J. Wang, Y. Koo, A. Alexander [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2013. – Vol. 47, no. 10. – P. 5442–5449. – doi: 10.1021/es4004334.
19. Monitoring chemically and green-synthesized silver nanoparticles in maize seedlings via surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) and their phytotoxicity evaluation / M. Yilmaz, A. Yilmaz, A. Karaman [et al.] // *Talanta*. – 2021. – Vol. 225. – P. 121952. – doi: 10.1016/j.talanta.2020.121952.
20. Physiological, structural and ultrastructural impacts of silver nanoparticles on the seagrass *Cymodocea nodosa* / Z. Mylona, E. Panteris, M. Moustakas [et al.] // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 248. – P. 126066. – doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126066.
21. Exposure of tomato (*Lycopersicon esculentum*) to silver nanoparticles and silver nitrate: physiological and molecular response / A. Noori, T. Donnelly, J. Colbert [et al.] // *International Journal of Phytoremediation*. – 2020. – Vol. 22, no. 1. – P. 40–51. – doi: 10.1080/15226514.2019.1634000.
22. Nair, P. M. G. Physiological and molecular level effects of silver nanoparticles exposure in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings / P. M. G. Nair, I. M. Chung // *Chemosphere*. – 2014. – Vol. 112. – P. 105–113. – doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.056.
23. Homaee, M. B. Silver nanoparticles and silver ions: oxidative stress responses and toxicity in potato (*Solanum tuberosum* L.) grown in vitro / M. B. Homaee, A. A. Ehsanpour // *Horticultural Science and Technology*. – 2016. – Vol. 57, no. 5. – P. 544–553. – doi: 10.1007/s13580-016-0083-z.
24. Silver nanoparticle's toxicological effects and phytoremediation / M. Ihtisham, A. Noori, S. Yadav [et al.] // *Nanomaterials*. – 2021. – Vol. 11, iss. 9. – P. 2164. – doi: 10.3390/nano11092164.
25. Ковзунова, О. В. Влияние наночастиц серебра на физиолого-биохимические параметры душицы обыкновенной (*Oreganum vulgare* L.) / О. В. Ковзунова, В. Н. Решетников // Роль метаболитов в совершенствовании биотехнологических средств производства : сборник трудов II международной научной конференции, Москва, 6–7 июня 2019 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т лекарств. и ароматич. растений ; редкол.: Н. И. Сидельников [и др.]. – М., 2019. – С. 18–23.
26. Comparison of the toxicity of silver nanoparticles and silver ions on the growth of terrestrial plant model *Arabidopsis thaliana* / H. Qian, X. Peng, X. Han [et al.] // *Journal of Environmental Sciences*. – 2013. – Vol. 25, no. 9. – P. 1947–1956. – doi: 10.1016/S1001-0742(12)60301-5.
27. Impacts of size and shape of silver nanoparticles on *Arabidopsis* plant growth and gene expression / Y. Syu, J.-H. Hung, J.-C. Chen, H. Chuang // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2014. – Vol. 83. – P. 57–64. – doi: 10.1016/j.plaphy.2014.07.010.
28. IAA8 involved in lateral root formation interacts with the TIR1 auxin receptor and ARF transcription factors in *Arabidopsis* / F. Arase, H. Nishitani, M. Egusa [et al.] // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7, iss. 9. – P. e43414. – doi: 10.1371/journal.pone.0043414.
29. Sisler, E. C. Interaction of ethylene and other compounds with the ethylene receptor: agonists and antagonists / E. C. Sisler, V. P. Grichko, M. Serek // *Ethylene Action in Plants* / ed. N. A. Khan. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2006. – P. 1–34.
30. Morphological and proteomic responses of *Eruca sativa* exposed to silver nanoparticles or silver nitrate / C. Vannini, G. Domingo, E. Onelli [et al.] // *PLoS One*. – 2013. – Vol. 8, iss. 7. – P. e68752. – doi: 10.1371/journal.pone.0068752.
31. Physiological Responses of Two Varieties of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to Foliar Application of Silver Nanoparticles / A. I. El-Batal, F. A. Gharib, S. M. Ghazi [et al.] // *Nanomaterials and Nanotechnology*. – 2016. – Vol. 6. – P. 1–16. – doi: 10.5772/62202.
32. Nanotechnology for the control of plant pathogens and pests / O. A. L. dos Santos, M. S. dos Santos, S. Antunes Filho, B. P. Backx // *Plant Nano Biology*. – 2024. – Vol. 8. – P. 100080. – doi: 10.1016/j.plana.2024.100080.
33. Alfósea-Simón, F. J. Silver nanoparticles help plants grow, alleviate stresses, and fight against pathogens / F. J. Alfósea-Simón, L. Burgos, N. Albuquerque // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, iss. 3. – P. 428. – doi: 10.3390/plants14030428.
34. Toxicological Aspects, Safety Assessment, and Green Toxicology of Silver Nanoparticles (AgNPs)-Critical Review: State of the Art / M. Noga, J. Milan, A. Frydrych, K. Jurowski // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, iss. 6. – P. 5133. – doi: 10.3390/ijms24065133.
35. Rezazadeh, N. H. Synergistic effects of combinatorial chitosan and polyphenol biomolecules on enhanced antibacterial activity of biofunctionalized silver nanoparticles / N. H. Rezazadeh, F. Buazar, S. Matroodi // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, iss. 1. – P. 19615. – doi: 10.1038/s41598-020-76726-7.
36. Krutyakov, Yu. A. Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects / Yu. A. Krutyakov, A. A. Kudrinskiy, A. Yu. Olein, G. V. Lisichkin // *Russian Chemical Reviews*. – 2008. – Vol. 77, iss. 3. – P. 233–257.
37. Nanotechnology for plant disease management / E. Worrall, A. Hamid, K. Mody [et al.] // *Agronomy*. – 2018. – Vol. 8, iss. 12. – P. 285. – doi: 10.3390/agronomy8120285.
38. Emerging trends in advanced translational applications of silver nanoparticles: A progressing dawn of nanotechnology / S. Husain, A. Nandi, F. Z. Simnani [et al.] // *Journal of Functional Biomaterials*. – 2023. – Vol. 14, iss. 1. – P. 47. – doi: 10.3390/jfb14010047.
39. Xu, L. Bioinspired nanomodification strategies: moving from chemical-based agrosystems to sustainable agriculture / L. Xu, Zh. Zhu, D.-W. Sun // *ACS Nano*. – 2021. – Vol. 15, no. 8. – P. 12655–12686.

40. Current trends and challenges in the synthesis and applications of chitosan-based nanocomposites for plants: a review / J. Yu, D. Wang, N. Geetha [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2021. – Vol. 261. – P. 117904. – doi: 10.1016/j.carbpol.2021.117904.
41. Impact of nano chitosan-NPK fertilizer on field crops / U. Ashraf, S. Zafar, R. Ghaffar [et al.] // Nano-Chitosan : Science and Engineering / ed. K. A. Abdullah. – London : Academic Press, 2022. – P. 165–183. – doi: 10.1016/B978-0-323-85593-8.00010-8.
42. Role of nanoparticles in plants / M. H. Siddiqui, M. H. Al-Wahaibi, M. Firoz, M. Y. Al-Khaishany // Nanotechnology and Plant Sciences : Nanoparticles and Their Impact on Plants / eds.: M. H. Siddiqui [et al.]. – Cham : Springer, 2015. – P. 19–35. – doi: 10.1007/978-3-319-14502-0_2.
43. Multifunctional Silver Nanoparticles Based on Chitosan: Antibacterial, Antibiofilm, Antifungal, Antioxidant, and Wound-Healing Activities / A. M. Shehabeldine, S. S. Salem, O. M. Ali [et al.] // Journal of Fungi. – 2022. – Vol. 8, no. 6. – P. 612. – doi: 10.3390/jof8060612.
44. Chitosan coated - biogenic silver nanoparticles from wheat residues as green antifungal and nanoprimer in wheat seeds / M. Mondéjar-López, A. J. López-Jimenez, O. Ahrazem [et al.] // International Journal of Biological Macromolecules. – 2023. – Vol. 225. – P. 964–973. – doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.11.159.
45. Antifungal Activity of Chitosan-Silver Nanoparticle Composite against *Colletotrichum gloeosporioides* Associated with Mango Anthracnose / P. Chowdappa, S. Gowda, C. S. Chethana, S. Madhura // African Journal of Microbiology Research. – 2014. – Vol. 8, no. 17. – P. 1803–1812. – doi: 10.5897/AJMR2013.6584.
46. Silver nanoparticles as potential antiviral agents / S. Galdiero, A. Falanga, M. Vitiello [et al.] // Molecules. – 2011. – Vol. 16, iss. 10. – P. 8894–8918. – doi: 10.3390/molecules16108894.
47. Oleoyl-chitosan nanoparticles inhibits *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* by damaging the cell membrane and putative binding to extracellular or intracellular targets / K. Xing, X. G. Chen, C. S. Liu [et al.] // International Journal of Food Microbiology. – 2009. – Vol. 132, no. 2/3. – P. 127–133. – doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2009.04.013.
48. Evidence on antimicrobial properties and mode of action of a chitosan obtained from crustacean exoskeletons on *Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000 / A. Y. Mansilla, L. Albertengo, M. S. Rodríguez [et al.] // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2013. – Vol. 97, iss. 15. – P. 6957–6966. – doi: 10.1007/s00253-013-4993-8.
49. Antiviral Activity of Chitosan Nanoparticles and Chitosan Silver Nanocomposites against Alfalfa Mosaic Virus / S. M. El-Ganainy, A. M. Soliman, A. M. Ismail [et al.] // Polymers. – 2023. – Vol. 15, iss. 13. – P. 2961. – doi: 10.3390/polym15132961.
50. Chitosan Nanoparticles Inactivate Alfalfa Mosaic Virus Replication and Boost Innate Immunity in Nicotiana Glutinosa Plants / A. Abdelkhalek, S. H. Qari, M. A. A.-R. Abu-Saied [et al.] // Plants. – 2021. – Vol. 10, iss. 12. – P. 2701. – doi: 10.3390/plants10122701.
51. Chitosan-elicited defense responses in Cucumber mosaic virus (CMV)-infected tomato plants / N. Rendina, M. Nuzaci, A. Scopa [et al.] // Journal of Plant Physiology. – 2019. – Vol. 234/235. – P. 9–17. – doi: 10.1016/j.jplph.2019.01.003.
52. Chitosan-Silver Nanocomposites in Combination with *Bacillus subtilis* for Control PVY and Induction of Plant Defense Mechanisms / J. N. Kalatskaja, L. G. Yarullina, N. A. Yalousskaya [et al.] // Russian Journal of Plant Physiology. – 2026. – Vol. 73, no. 1. – P. 24. – doi: 10.1134/S1021443725606342.
53. Advances in nanotechnology as a potential alternative for plant viral disease management / P. K. Dutta, A. Kumari, M. Mahanta [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2022. – Vol. 13. – P. 935193. – doi: 10.3389/fmicb.2022.935193.
54. Application of Chitosan and Its Derivatives Against Plant Viruses / T. Komarova, I. Shipounova, N. Kalinina, M. Taliansky // Polymers. – 2024. – Vol. 16, no. 22. – P. 3122. – doi: 10.3390/polym16223122.

Поступила в редакцию 12.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Еловская Нинель Анатольевна – научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Калацкая Жанна Николаевна – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Еловская, Н. А. Нанокompозиты на основе хитозана как экологически безопасные регуляторы процессов устойчивости растений к вирусной инфекции / Н. А. Еловская, Ж. Н. Калацкая // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Минск, 2026. – Вып. 57. – С. 217–224.

УДК 58.071:571.27:577.22

О. А. ИВАНОВ, В. В. ДЕМИДЧИК

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАСТЕНИЙ И ПАТОГЕНОВ: РОЛЬ РЕЦЕПТОРНЫХ СИСТЕМ, СИГНАЛЬНЫХ КАСКАДОВ И РЕГУЛЯТОРНЫХ МОЛЕКУЛ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: ivanov@botany.by*

Аннотация. Взаимодействие растений и патогенов представляет собой динамичный процесс, определяющий исход заболевания и устойчивость растений к патогенам. В данном обзоре суммированы и критически обсуждены современные представления о молекулярных механизмах взаимодействия растений и патогенов с акцентом на роль рецепторных систем, сигнальных каскадов и регуляторных молекул в формировании иммунного ответа. Анализируются процессы распознавания консервативных структур микроорганизмов (РАМР, молекулярные паттерны, ассоциированные с патогенами) и специфических эффекторов патогенов растительными рецепторами различных классов, включая мембранные рецепторные киназы (RLK), рецепторные белки (RLP) и внутриклеточные рецепторы (NLR, рецепторы с нуклеотид-связывающим доменом и лейцин-богатыми повторами). Также систематизированы данные о разворачивании иммунного ответа после распознавания: активации ранних сигнальных событий. Особое внимание уделено перекрёстной регуляции РТИ (иммунитет, запускаемый паттернами) и ЕТИ (иммунитет, запускаемый эффекторами) у инфицированных растений.

Ключевые слова: растительный иммунитет; рецепторы; микроорганизмы; иммунитет, опосредованный паттернами; иммунитет, опосредованный эффекторами.

О. А. IVANOV, V. V. DEMIDCHIK

PLANT-PATHOGEN INTERACTION: THE ROLE OF RECEPTOR SYSTEMS, SIGNALING CASCADES, AND REGULATORY MOLECULES

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: ivanov@botany.by*

Abstract. The interaction between plants and pathogens is a dynamic process that determines the outcome of the disease and the resistance of plants to pathogens. This review summarizes and critically discusses current understanding of the molecular mechanisms of plant-pathogen interactions, with an emphasis on the role of receptor systems, signaling cascades, and regulatory molecules in the formation of the immune response. Review analyzes the recognition of conserved microbial structures (Pathogen Associated Molecular Patterns: PAMP) and specific pathogen effectors by plant receptors of various classes, including membrane receptor-like kinases (RLK) and receptor-like proteins (RLP), as well as intracellular nucleotide-binding leucine-rich repeat receptors (Nucleotide-binding Leucine-rich repeat Receptors: NLR). Data on the deployment of the immune response after recognition: activation of early signaling events, are also systematized. Particular attention is paid to the cross-regulation of PTI (Pattern Triggered Immunity) and ETI (Effector Triggered Immunity) in infected plants.

Keywords: plant immunity; receptors; microorganisms; pattern-mediated immunity; effector-mediated immunity.

ВВЕДЕНИЕ

Болезни растений оказывают огромное влияние на природное биоразнообразие, продуктивность сельскохозяйственных культур и экономику всех стран мира [1, 2]. Тяжесть последствий неконтролируемого распространения фитопатогенов простимулировала многочисленные исследования, которые в последние десятилетия перешли от организменного к молекулярному уровню, значительно расширив понимание механизмов взаимодействия растений с патогенными организмами.

Генетический контроль устойчивости к болезням у растений впервые описан в начале 1900-х гг. [3]. В 1920-х гг. обнаружено, что изоляты одного вида патогена можно разделить на «физиологические расы», различающиеся по своей способности инфицировать те или иные линии растений-хозяев [4]. Накопленные данные позволили выдвинуть гипотезу «ген на ген», которая описывала результат взаимодействия растений и патогенов, в равной степени зависящий от генотипа хозяина и патогена. В этой модели устойчивость

к болезням является результатом событий распознавания белками, кодируемыми генами устойчивости растений (*R*) факторов авирулентности патогена (*Avr*), кодируемых соответствующими генами патогена [5]. При этом отсутствие распознавания (белкового взаимодействия) позволяет патогенному организму успешно поражать организм растения [5]. Установлено, что данная базовая концепция применима ко многим болезням растений, вызываемым бактериями, грибами, оомицетами и вирусами [6].

В Беларуси Василий Феофилович Купревич в 1930-е гг. заложил основы физиолого-биохимических подходов к исследованию фитоиммунитета и взаимодействия растений с патогенными организмами. Уже в 1950-х гг. в трудах научной школы В. Ф. Купревича сформировались оригинальные, и в дальнейшем во многом подтвердившиеся, представления о механизмах патологических и иммунологических реакций, возникающих у растений в ответ на заражение патогеном. В частности, показано, что одним из наиболее характерных признаков большинства инфекционных болезней является нарушение углеводного и азотного обмена, нарушение оттока ассимилятов к местам их потребления у больного растения,

сбой в координированной работе растительных гормонов, нарушение водообмена, что в совокупности приводит к нарушению энергетического баланса и снижению продуктивности растений [7, 8]. В дальнейшем эти исследования продолжены Зоей Яковлевной Серовой и коллегами. Было продемонстрировано, что ключевую роль в развитии инфекционных заболеваний у растений играют структурно-функциональные перестройки белков, связанных с иммунными и патологическими реакциями [9].

В более поздних исследованиях выявлены и другие механизмы распознавания, помимо классических взаимодействий типа «ген на ген». Их открытие стало возможным благодаря идентификации молекул, ассоциированных с патогенами (РАМР¹), таких как бактериальные липополисахариды и компоненты клеточной стенки грибов, способных индуцировать защитные реакции при контакте с растительными клетками [10]. Однако вклад этих механизмов распознавания в исход патогенеза долгое время оставался неясным, тем более что многие РАМР являются консервативными и характерны как для патогенов, успешно вызывающих заболевание, так и для непатогенных микроорганизмов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Понимание молекулярных механизмов иммунных реакций растений оставалось неглубоким и во многом ограничивалось феноменологическим описанием вплоть до конца XX в., когда были идентифицированы ключевые гены и белки, обеспечивающие взаимодействие растений с патогенами и распознавание РАМР на уровне клетки и отдельных мембранных комплексов. Это позволило сформировать современную модель активации защитных реакций в иммунной системе растений [12, 16, 35, 38, 49]. В 2000 г. идентифицирован первый растительный рецептор для бактериального РАМР [11]. В последствии анализ этих и ранее полученных результатов привел к предположению о разделении патоген-индуцируемых ответов растения (иммунных ответов) на два ключевых типа: иммунитет, запускаемый паттернами, и иммунитет, запускаемый эффекторами (РТГ² и ЕТГ³, соответственно) [12]. Согласно данной модели (рис. 1), локализованные на поверхности клеток рецепторы распознают консервативные молекулярные паттерны, ассоциированные с патогенными организмами, и

инициируют защитные реакции, обеспечивающие устойчивость растений к широкому спектру рас патогенов, которые давно сосуществуют с растениями. Однако многие адаптированные патогены и, в особенности, новые расы способны «обходить» рецепторы клеточной поверхности и доставлять в растительные клетки эффекторный белки, которые с одной стороны способствуют развитию инфекции и даже могут подавлять РТГ, а с другой стороны, могут распознаваться внутриклеточными рецепторами, что приводит к запуску специализированной формы программируемой клеточной смерти – гиперчувствительному ответу (часть ЕТГ).

Внутриклеточные иммунные рецепторы, преимущественно относятся к классу нуклеотид-связывающих рецепторов с лейцин-обогащенными повторами (NLR)⁴. Они распознают действие или присутствие эффекторов и активируют дополнительный уровень иммунной защиты. Реакция часто сопровождается развитием реакции гиперчувствительного ответа, включающей быстрое локальное отмирание клеток в зоне инфек-

¹ РАМР: Pathogen Associated Molecular Patterns (молекулярные паттерны, ассоциированные с патогенами).

² РТГ: Pattern-Triggered Immunity (иммунитет, запускаемый паттернами).

³ ЕТГ: Effector Triggered Immunity (иммунитет, запускаемый эффекторами).

⁴ NLR: Nucleotide-binding Leucine-rich repeat Receptors (рецепторы с нуклеотид-связывающим доменом и лейцин-богатыми повторами).

ции, исключающее дальнейшее распространение патогена. Таким образом, современные модели РТИ и ЕТИ рассматривают фитоиммунитет как систему, включающую два взаимосвязанных уровня распознавания: 1) детектирование консервативных молекулярных паттернов, связанных со структурными компонентами патогенов, на поверхности клетки, и 2) распознавание ва-

риабельных эффекторных белков внутри клетки. Такая концепция позволяет объяснить почему растения устойчивы к большинству известных патогенов, а также особенности эволюционной борьбы растений за успешное поражение адаптированных растений – путем подавления РТИ и избегания иммунного распознавания типа ЕТИ [13].

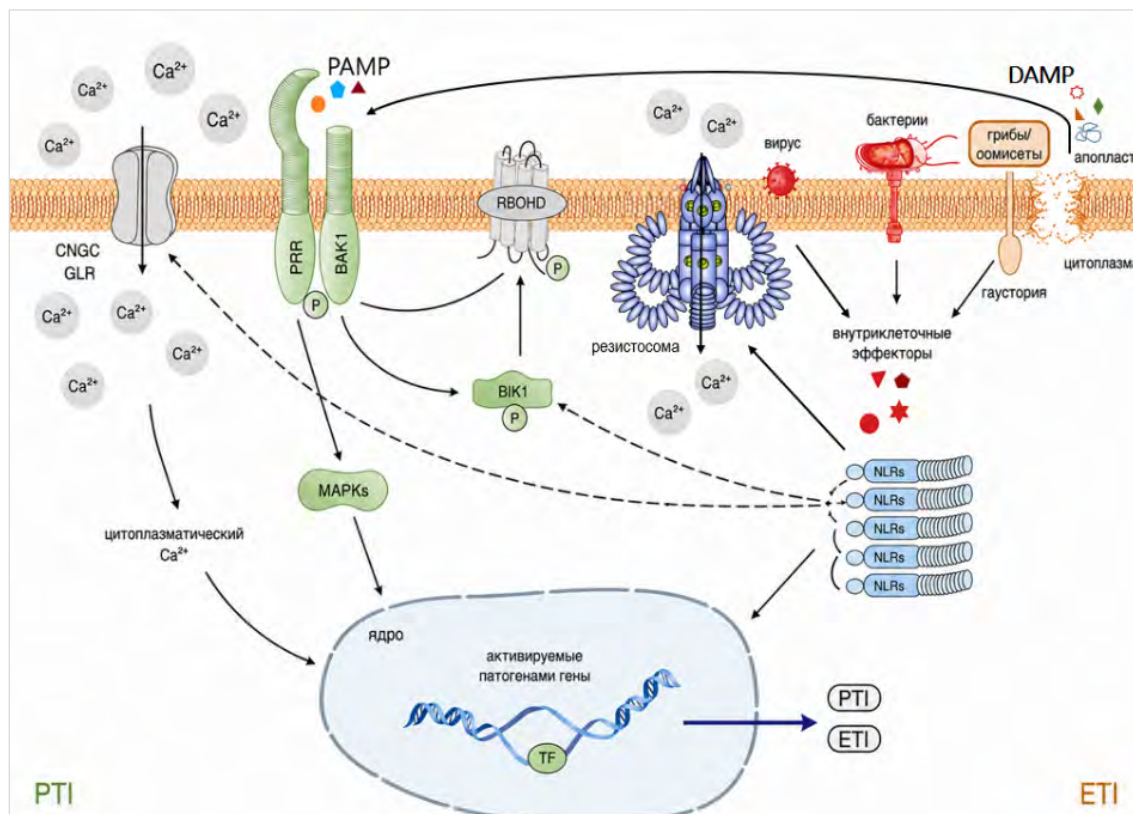


Рис. 1. Сигнальные каскады иммунной системы растений

PAMP (молекулярные паттерны, ассоциированные с патогенами) и DAMP (молекулярные паттерны, ассоциированные с повреждениями) распознаются PRR (рецептор распознавания паттернов), что запускает РТИ (иммунитет, запускаемый паттернами): активирует каскада MAPK (митоген-активируемая протеинкиназа) и внутриклеточных рецептороподобных цитоплазматических киназ, которые фосфорилируют RBOHD (гомолог оксидазы D респираторного взрыва) и ионные каналы, обладающие Ca^{2+} -проницаемостью: CNGC (канал, активируемый циклическими нуклеотидами) и GLR (глутамат-рецептороподобный белок), активируют образование АФК (активных форм кислорода) и увеличивают концентрацию Ca^{2+} в цитоплазме.

Эффекторы патогенов, проникающие в клетку, распознаются рецепторами NLR (с нуклеотид-связывающим доменом и лейцин-богатыми повторами). Это приводит к олигомеризации NLR в резистосому и активирует ЕТИ (иммунитет, запускаемый эффекторами).

Стрелки и пунктирные линии указывают на положительную и отрицательную регуляцию соответственно. P – фосфорилирование, TF – фактор транскрипции.

Fig. 1. Signaling cascades of the plant immune system

PAMP (Pathogen Associated Molecular Patterns) and DAMP (Damage-Associated Molecular Patterns) are recognized by PRR (Pattern Recognition Receptor), which trigger PTI (Pattern-Triggered Immunity): this activates the MAPK (Mitogen-Activated Protein Kinase) cascade and intracellular receptor-like cytoplasmic kinases, which phosphorylate RBOHD (Respiratory Burst Oxidase Homolog Protein D) and ion channels with Ca^{2+} permeability: CNGC (Cyclic Nucleotide Gated Channel) and GLR (Glutamate Receptor Like), activate ROS (Reactive Oxygen Species) burst and increase the concentration of Ca^{2+} .

Pathogen effectors entering the cell are recognized by NLR (Nucleotide-binding Leucine-rich repeat Receptors) receptors. This leads to oligomerization of the NLR into a resistosome and ETI (Effector Triggered Immunity) activation.

Arrows and dotted lines indicate positive and negative regulation, respectively. P – phosphorylation, TF – transcription factor.

Поверхностный и внутриклеточный иммунитет растений функционируют согласованно, обеспечивая активацию защитных реакций и подавление развития инфекции. Несмотря на то, что первоначально эти механизмы рассматривали как относительно независимые системы, сформировавшиеся и изучавшиеся параллельно, накопленные

данные свидетельствуют о наличии общих сигнальных путей и тесного функционального взаимодействия между ними. Это указывает на существование интегрированной иммунной системы растений, объединяющей механизмы РТИ и ЕТИ, что является областью активных исследований настоящего времени во всем мире [14].

Распознавание консервативных структур патогенов

У растений каждая отдельная клетка экспрессирует набор рецепторов врожденного иммунитета (PRR⁵), которые распознают сигналы вторжения. Высшие растения обладают разнообразным набором мембранных рецепторов, способных воспринимать различные консервативные структуры вторгшихся патогенов (PAMP), а также собственные «сигналы тревоги» – эндогенные молекулярные сигналы повреждения, которые высвобождаются или образуются при нарушении целостности клеток и тканей растения (DAMP⁶).

К PRR растений относятся рецептороподобные киназы (RLK⁷) и рецептороподобные белки (RLP⁸) [15]. RLK характеризуются наличием варибельного лигандсвязывающего внеклеточного домена, трансмембранного домена и внутриклеточного киназного домена, тогда как RLP лишены собственной киназной активности вследствие отсутствия внутриклеточного киназного домена.

Функциональные домены или мотивы в составе внеклеточного домена способны распознавать разнообразные лиганды, включая полипептиды, полисахариды, липополисахариды, стероиды и эффекторы, выделяемые патогенными бактериями, а также эндогенные молекулы хозяина [16].

На основе организации внеклеточных доменов известные PRR подразделяются на рецепторы с лейцин-богатыми повторами (LRR), лизиновыми мотивами (LysM), лектиновыми доменами и доменами, подобными эпидермальному фактору роста (EGF) (рис. 2) [16]. Организация внеклеточных доменов в значительной степени определяет спектр распознаваемых лигандов и особенности их восприятия рецептором.

Наиболее многочисленный и хорошо изученный класс RLK содержит LRR-домены и участвует главным образом в распознавании белков и пептидов. К ним относятся первый идентифицированный рецептор PAMP FLS2⁹ из *Arabidopsis thaliana* [11], распознающий консервативный 22-аминокислотный фрагмент бактериального фла-

геллина посредством прямого связывания [17]. Используя мутантные линии с нокаутом FLS2, Zipfel *et al.* [18] показали, что восприятие флагеллина приводит к количественно измеримому снижению уровня инфицирования вирулентным штаммом *Pseudomonas syringae*, что стало одним из первых убедительных доказательств прямой связи между PAMP-индуцированными реакциями и функционированием иммунитета растений. Позднее у *A. thaliana* был открыт еще один рецептор, EFR¹⁰, распознающий фрагмент бактериального фактора элонгации EF-Tu, что приводило к ограничению роста бактерии *Agrobacterium tumefaciens* в растениях [19]. К данной группе относится множество других рецепторов. Филогенетический анализ 33 видов растений показал, что среднее число LRR-RLK у покрытосеменных составляет приблизительно 250 на вид [20]. Другие LRR-RLK распознают эндогенные пептиды, высвобождаемые из клеток растения при их разрушении. Например, рецепторы PEPR1 и PEPR2 у *A. thaliana* обнаруживают усиливающие РТИ пептиды AtPep1 и AtPep2¹¹, образующиеся из внутриклеточных пропептидов PROPEP. Показано, что транскрипция AtPROPEP1 и AtPROPEP2 в листьях индуцируется под действием бактериальных эффекторов flg22 и elf18, метилжасмоната, а также в петле положительной обратной связи в присутствии AtPep1 и AtPep2 [21]. Процессинг PROPEP с высвобождением AtPep1 и AtPep2 далее осуществляется внутриклеточными метакаспазами [21]. Поскольку рецепторы PEPR локализованы на плазматической мембране и связывают лиганд своим внеклеточным LRR-доменом, для взаимодействия с рецептором пептиды должны попасть в апопластическое пространство. Белки PROPEP лишены классических сигнальных последовательностей, направляющих белки в секреторный путь, и локализованы в цитозоле (в том числе в ассоциации с тонопластом). Таким образом, их выход во внекле-

⁵ PRR: Pattern Recognition Receptor (рецептор распознавания паттернов).

⁶ DAMP: Damage-Associated Molecular Patterns (молекулярные паттерны, ассоциированные с повреждениями).

⁷ RLK: Receptor-Like Kinase (рецептороподобная киназа).

⁸ RLP: Receptor-Like Protein (рецептороподобный белок).

⁹ FLS2: Flagellin-Sensing 2 (рецептор флагеллина FLS2).

¹⁰ EFR: EF-Tu Receptor (рецептор фактора элонгации EF-Tu).

¹¹ PERP: Plant Elicitor Peptide 1 and 2 Receptors (рецепторы растительных элиситорных пептидов 1 и 2).

точное пространство, по-видимому, осуществляется посредством нековенциональной секреции – либо при пассивном высвобождении в результате повреждения клетки (модель «повреждения»), либо путём активного регулируемого экспорта в ответ на восприятие патогена (модель «усиления сигнала опасности») [21].

Большинство охарактеризованных RLP также содержат внеклеточные LRR-домены. К этому классу относятся многие рецепторы апопластных эффекторов патогенов, включая белки Cf томата, распознающие Avr-эффекторы гриба *Cladosporium fulvum* [22], а также рецептор LepR3 рапса, детектирующий эффектор AvrLm1 гриба *Leptosphaeria maculans* [23].

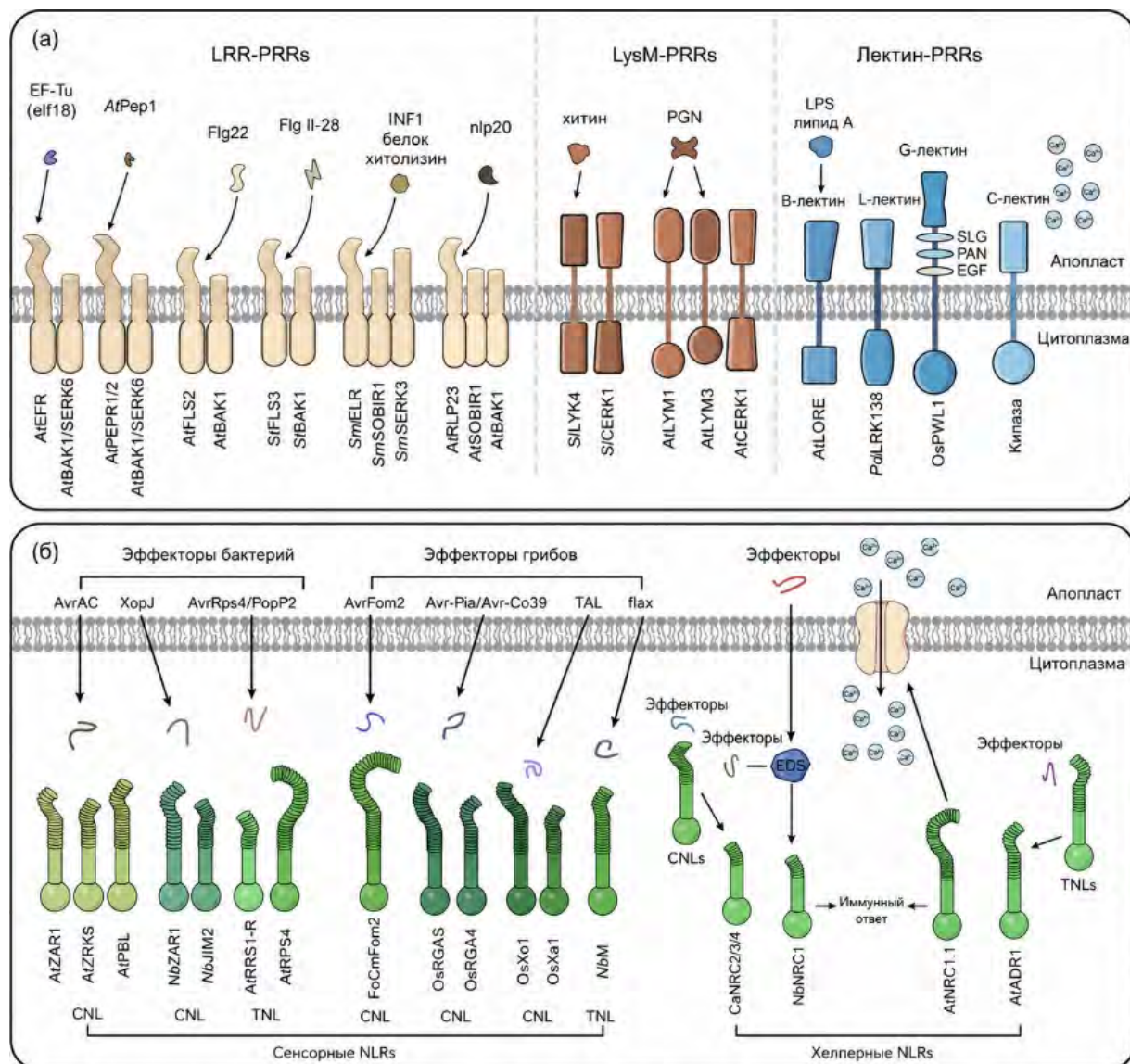


Рис. 2. Типы рецепторов PTI (иммунитет, запускаемый паттернами) и ETI (иммунитет, запускаемый эффекторами)

- (a) PRR (рецептор распознавания паттернов) (LRR-RK (рецепторная киназа с лейцин-богатыми повторами) и LRR-RP (рецепторный белок с лейцин-богатыми повторами));
- (б) NLR (рецепторы с нуклеотид-связывающим доменом и лейцин-богатыми повторами) (сенсорные NLR и вспомогательные NLR в зависимости от функции).

Fig. 2. Types of PTI (Pattern-Triggered Immunity) and ETI (Effector Triggered Immunity) receptors

- (a) PRR (Pattern Recognition Receptor) (LRR-RK (Leucine-Rich Repeat-Receptor Kinase) and LRR-RP (Leucine-Rich Repeat-Receptor Protein));
- (b) NLR (Nucleotide-binding Leucine-rich repeat Receptors) (sensory NLR and accessory NLR depending on function).

Рецептороподобные киназы и рецептороподобные белки, содержащие лизинный мотив (LysM), характеризуются наличием внеклеточного LysM-домена и преимущественно участвуют в распознавании хитина грибов и бактериальных пептидогликанов [24]. У *Arabidopsis thaliana* ключевую роль в восприятии хитина играют рецептороподобные киназы RLK1 и CERK1¹² [25]. Три внеклеточных LysM-домена CERK1 обладают способностью непосредственно связывать хитин и частично деацетилированный хитозан без участия дополнительных белков-рецепторов. Связывание лиганда быстро индуцирует фосфорилирование киназного домена CERK1, что является критически важным этапом активации нижележащего сигналинга и последующих защитных реакций растения [26, 27]. Аналогичные механизмы распознавания хитина описаны и у риса [28]. Более того, у риса идентифицированы два гомологичных LysM-содержащих белка LYP4 и LYP6¹³, функционирующие как PRR двойной специфичности и способные распознавать как бактериальный пептидогликан, так и грибной хитин [29].

PRR, содержащие лектиновые домены, изучены менее подробно по сравнению с другими классами рецепторов врожденного иммунитета растений. На основании особенностей организации внеклеточного лектинового домена их подразделяют на три основные группы: G-, L- и C-тип. Все три группы широко распространены у растений, тогда как у животных эти классы рецепторов отсутствуют [30].

G-тип характеризуется наличием домена bulb-лектина, связывающего α -маннозу, домена S-локусного гликопротеина, а также PAN- и/или EGF-домена. Исторически представители этой группы обозначались как B-тип или S-domain RLK в связи со сходством внеклеточного домена с луковичными (bulb) лектинами и присутствием района S-локуса, ответственного за реакцию несовместимости пыльцы. L-тип несёт легумин-подобный лектиновый домен с характерной β -сэндвич-структурой. C-тип представлен у растений единичными генами; функция этих рецепторов остаётся невыясненной, хотя предполагается Ca^{2+} -зависимый механизм связывания углеводных лигандов [30].

К числу наиболее изученных представителей относится рецептороподобная киназа LORE¹⁴ у

Arabidopsis thaliana, относящаяся к G-типу лектиновых RLK и распознающая липид А бактериального липополисахарида (ЛПС). LORE играет важную роль в детекции ЛПС и формировании устойчивости растений к бактериальным инфекциям [31]. Рецептороподобные киназы с лектиновыми доменами G-типа также вовлечены в иммунные процессы, причем функциональные мутации этих белков сопровождаются повышением устойчивости к заболеваниям [32]. Для представителей L-типа показано участие в регуляции иммунных реакций: сверхэкспрессия рецептороподобной киназы PbLRK138 индуцирует гибель клеток и активирует экспрессию генов, связанных с защитой, в листьях табака [33]. Рецептороподобные киназы C-типа, которые у млекопитающих обеспечивают Ca^{2+} -зависимое связывание углеводных структур и участвуют во врожденном иммунитете, в контексте иммунной системы растений остаются малоизученными [34].

Механизмы активации RLK- и RLP-зависимого иммунитета, а также связанные с ними сигнальные каскады в настоящее время хорошо охарактеризованы [35]. В ответ на распознавание PAMP в растительных клетках развивается комплекс физиологических и молекулярных реакций, включающий приток Ca^{2+} , генерацию активных форм кислорода (АФК), активацию каскадов митоген-активируемых протеинкиназ (МАРК¹⁵), отложение каллозы для укрепления клеточной стенки, индукцию экспрессии генов, связанных с защитными реакциями, изменения гормонального статуса растения (см. рис. 1). Существенный вклад в расшифровку этих сигнальных путей внесло выявление ключевых компонентов РТИ - корецепторной киназы BAK1¹⁶ [36] и цитоплазматической киназы BIK1¹⁷ [37], необходимых для разворачивания иммунных ответов, запускаемых PAMP. После связывания лиганда LRR-RLK формируют гетерокомплексы с BAK1, что инициирует авто- и перекрестное фосфорилирование внутриклеточных доменов рецептора и корецептора и приводит к активации BAK1. Анализ фосфорилирования выявил многочисленные регуляторные сайты в киназных доменах компонентов рецепторных комплексов, контролирующие их активацию, каталитическую активность и эндосомальный транспорт [38].

¹² CERK1: Chitin Elicitor Receptor Kinase 1 (рецепторная киназа, распознающая хитин).

¹³ LYP4/6: LYsM domain-containing Protein 4/6 (рецептор хитина и пептидогликана, содержащий домен LysM).

¹⁴ LORE: LipoOligosaccharide-specific Reduced Elicitation (рецептороподобная киназа, распознающая липоолигосахариды).

¹⁵ MAPK: Mitogen-Activated Protein Kinase (митоген-активируемая протеинкиназа).

¹⁶ BAK1: BRI1-Associated receptor Kinase 1 (рецепторная киназа 1, ассоциированная с рецептором брассиностероидов BRI1 и образующая комплекс с FLS2, EFR и другими PRR).

¹⁷ BIK1: Botrytis-Induced Kinase 1 (киназа 1, индуцируемая Botrytis).

BIK1 функционирует как непосредственный конвергентный субстрат нескольких различных PRR - FLS2, EFR, PEPR1 и CERK1, связывающих флагеллин, EF-Tu, эндогенные AtPep-пептиды и хитин грибов соответственно. Таким образом, BIK1 выступает в роли узлового интегратора сигналов, поступающих от рецепторов с разной лигандной специфичностью: после восприятия PAMP BIK1 подвергается фосфорилированию и напрямую фосфорилирует НАДФН-оксидазу RBOHD¹⁸, Ca²⁺-проницаемый канал OSCA и каналы CNGC¹⁹2/4, обеспечивая окислительный взрыв, вход кальция в цитозоль и замыкание устьиц [39–42]. Несмотря на конвергентность этого узла, конечные ответы не являются полностью идентичными. Флагеллин (flg22), хитин и AtPep1 индуцируют различающиеся по динамике и локализации Ca²⁺-сигнатуры, что ведёт к неодинаковой транскрипционной регуляции нижележащих мишеней. В частности, flg22 и хитин преимущественно активируют экспрессию генов, связанных с салициловой кислотой, тогда как AtPep1 дополнительно индуцирует жасмонат-зависимые гены. Следовательно, BIK1 обеспечивает конвергенцию ранних сигналов от структурно различных рецепторных комплексов, тогда как специфичность конечного иммунного ответа определяется особенностями самих PRR и формируемых ими сигнальных комплексов [40].

Распознавание внутриклеточных эффекторов патогенов рецепторами NLR

В ходе коэволюции с растениями фитопатогены сформировали разнообразные механизмы уклонения от РТИ и подавления его активности, секретируя эффектор-белки, способствующие инфицированию и колонизации тканей хозяина. Растения противостоят такой стратегии патогенов при помощи внутриклеточных иммунных NLR рецепторов. NLR способны непосредственно распознавать эффекторы либо детектировать индуцируемые ими изменения в клетке хозяина, инициируя второй уровень иммунной защиты – ETI. Семейство NLR-белков характеризуется высокой степенью дивергенции как между различными видами растений, так и внутри отдельных видов, что связано с их адаптацией к распознаванию быстро эволюционирующих эффекторов у микроорганизмов. В настоящее время идентифицированы сотни различных NLR-рецепторов, обеспечивающих устойчивость к заболеваниям у широкого круга растительных видов [48]. Распознавание эффекторов растительными NLR-рецепторами обычно вызы-

В отличие от RLK, рецептороподобные белки (RLP) лишены внутриклеточного киназного домена и поэтому взаимодействуют с адаптерной киназой SOBIR1²⁰. После распознавания лиганда комплексы RLP-SOBIR1 рекрутируют BAK1, что также приводит к его фосфорилированию и активации [43]. Активированные рецепторно-ко-рецепторные комплексы далее ассоциируются с цитоплазматическими киназами BIK1, которые выполняют роль ключевых посредников передачи сигнала и запуска нижележащих ответов [44]. Аналогичным образом LysM-содержащие RLK и RLP взаимодействуют с CERK1, который одновременно функционирует как корецептор и самостоятельный рецептор хитина [45]. Последующая передача сигнала осуществляется через сеть внутриклеточных киназ, активность которых регулируется вспомогательными RLK, фосфатазами, убиквитинированием и другими механизмами, обеспечивающими точную настройку интенсивности иммунного ответа [38].

Активация MAPK-каскадов завершается фосфорилированием факторов транскрипции, включая белки семейства WRKY, которые обеспечивают масштабное перепрограммирование транскрипции и индуцируют синтез ключевых защитных фитогормонов (жасмоновой кислоты, этилена и салициловой кислоты) и защитных белков [46, 47].

важает быструю гибель инфицированных клеток, поэтому адаптационные стратегии патогенов направлены на непрерывное изменение эффекторных молекул, позволяющее уклоняться от распознавания. Взаимодействие между эффекторами, мишенями хозяина и соответствующими иммунными рецепторами формируется, таким образом, сложными молекулярными механизмами и коэволюционной динамикой.

Многие из эффекторов патогенов специфически нацелены на компоненты иммунной системы RLK/RLP, включая корецепторы, цитоплазматические киназы и MAPK, для подавления защитных реакций растений [49]. Первые эффектор-белки идентифицированы у гемиботрофного гриба *Magnaporthe oryzae*, который в ходе инфекции доставляет в цитоплазму растительной клетки небольшие белки Avr-Pita [50]. Доставка эффекторов происходит через специализированную структуру – биотрофный межфазный комплекс (БМК), формирующийся на кончике первичных инвазивных гиф гриба в живых клет-

¹⁸ RBOHD: Respiratory Burst Oxidase Homolog Protein D (гомолог оксидазы D респираторного взрыва).

¹⁹ CNGC: Cyclic Nucleotide Gated Channel (канал, активируемый циклическими нуклеотидами).

²⁰ SOBIR1: Suppressor Of BIR1 (адаптерная рецептороподобная киназа для RLP).

ках хозяина. Цитоплазматические эффекторы сначала фокально секретируются в БМК, после чего упаковываются в эффекторные мембранные компартменты и транслоцируются в цитоплазму клетки-хозяина посредством клатрин-опосредованного эндоцитоза [51].

Впоследствии эффекторы обнаружены у ряда биотрофных грибов и оомицетов, причем во всех случаях выявлена сходная закономерность: небольшие секретируемые белки, продуцируемые специализированными инфекционными структурами патогенов, распознаются внутриклеточными NLR-рецепторами растения [49]. В настоящее время описано более 140 пар взаимодействующих NLR-эффектор у широкого спектра растений и фитопатогенов [48].

Одним из ключевых этапов в развитии представлений об ETI стала формулировка «модели стража», предложенной на основе изучения взаимодействия эффектора AvrPto бактерии *Pseudomonas syringae* с белками Pto и Prf томата [52]. Показано, что эффектор напрямую взаимодействует с протеинкиназой Pto, тогда как NLR Prf не связывает эффектор непосредственно, а контролирует состояние Pto и активируется при нарушении функции протеинкиназы. Эта модель косвенного распознавания впоследствии была подробно проверена для NLR RPS2, который реагирует на деградацию белка RIN4 эффектором AvrRpt2 *P. syringae* [53]. На основе этих наблюдений сформулирована также концепция «приманки», согласно которой некоторые белки хозяина эволюционно приобрели функцию имитации естественных мишеней эффекторов, облегчая их распознавание иммунной системой растения [54].

В противоположность этому, для многих биотрофных грибов и оомицетов показано преобладание прямого распознавания эффекторных белков при помощи NLR [48]. Одним из первых примеров стало взаимодействие белков L5, L6 и L7 льна с вариантами эффектора AvrL567 гриба *Melampsora lini*, где специфичность иммунного ответа определялась прямым связыванием эффектора с LRR-доменом NLR [55]. Аналогичные механизмы позже выявлены для многочисленных NLR биотрофных грибов и оомицетов [56].

По мере накопления данных стало очевидно, что многие NLR функционируют не как изолированные рецепторы, а как элементы генетически и функционально связанных пар или сетей. В таких

системах сенсорные NLR (sNLR) обеспечивают распознавание эффектора или индуцируемых им изменений, тогда как вспомогательные NLR (hNLR) выступают в роли сигнальных узлов, реализующих иммунный ответ [57]. Одними из первых описанных примеров таких систем стали пары Pik-1/Pik-2 и RGA4/RGA5 у риса, а также RRS1/RPS4 у *Arabidopsis thaliana* [58, 59]. В этих комплексах сенсорные белки содержат интегрированные домены-приманки, имитирующие естественные мишени патогенов. Так, белки Pik-1 и RGA5 используют интегрированные HMA-домены для связывания эффекторных белков, а RRS1 содержит WRKY-домен, распознающий бактериальные эффекторы AvrRps4 и PopP2 [60, 61].

Современные представления об ETI тесно связаны с изучением структуры и организации самих NLR-рецепторов (см. рис. 2). Растительные NLR представляют собой многодоменные белки, содержащие центральный нуклеотид-связывающий домен NB-ARC, C-концевой LRR-домен и переменный N-концевой сигнальный домен. В зависимости от организации N-концевой области NLR подразделяются на TIR-NLR (TNL), CC-NLR (CNL), включая CCR-NLR и CCG10-NLR²¹, а также ряд специализированных подтипов [62]. LRR-домен преимущественно отвечает за распознавание эффекторов, NB-ARC регулирует активацию рецептора посредством связывания и гидролиза АТФ, тогда как N-концевые домены участвуют в передаче сигнала и индукции иммунного ответа [14].

В последние годы применение криоэлектронной микроскопии в структурном анализе NLR-комплексов позволило существенно продвинуться в понимании молекулярных механизмов активации иммунных рецепторов растений, объединив и структурно объяснив многие ранее полученные функциональные данные [63]. Первым прорывом стало определение структуры рецептора ZAR1²² у *Arabidopsis thaliana* в неактивном, промежуточном и полностью активированном состояниях, что позволило проследить последовательность конформационных изменений, сопровождающих активацию NLR после распознавания эффектора [64]. ZAR1 функционирует в комплексе с несколькими белками семейства RLK-VII и обеспечивает косвенное распознавание бактериальных эффекторов. В неактивном состоянии ZAR1 связан с киназой RKS1 [64]. По-

²¹ TIR-NLR: Toll/Interleukin-1 Receptor NLR (NLR-рецептор с TIR-доменом); CC-NLR: Coiled-Coil NLR (NLR-рецептор со спирально-спиральным (CC) доменом); CCR-NLR: RPW8-like Coiled-Coil domain NLR (NLR-рецептор с CCR-доменом типа RPW8); CCG10-NLR: CCG10 motif-NLR (NLR-рецептор с доменом типа CCG10); NB-ARC: Nucleotide-Binding domain shared by APAF-1, R proteins and CED-4 (нуклеотид-связывающий домен, общий для APAF-1, R-белков и CED-4).

²² ZAR1: hopZ-Activated Resistance 1 (название связано с эффектором HopZ1a бактерии *Pseudomonas syringae*. Белок устойчивости 1, активируемый эффектором HopZ).

сле инфицирования бактериальный эффектор AvrAC уридилирует другую киназу, PBL2, и модифицированная таким образом PBL2 взаимодействует с комплексом ZAR1-RKS1. Это приводит к формированию промежуточного комплекса ZAR1-RKS1-PBL2 ZAR1 [64]. Дальнейшая активация приводит к олигомеризации комплекса и образованию пентамерной структуры, получившей название «резистосома». При этом ZAR1 претерпевают выраженные конформаци-

онные изменения, формируя воронкообразную структуру. Активированная резистосома ассоциируется с плазматической мембраной и функционирует как Ca^{2+} -проницаемый канал, необходимый для запуска ETI [65]. Сходные принципы активации выявлены и для других NLR. Так, у пшеницы охарактеризована пентамерная АТФ-связанная резистосома рецептора Sr35, непосредственно взаимодействующего со своим эффектором AvrSr35 [56].

Взаимодействие РТИ-ЕТИ – интегративная система иммунитета растений

Представления о PRR- и NLR-опосредованных ветвях иммунитета растений длительное время развивались параллельно, причем большинство исследований было сосредоточено преимущественно на одной из этих систем. Несмотря на очевидность того, что обе ветви могут одновременно активироваться и определять исход взаимодействия растения с патогеном, их традиционно рассматривали как относительно независимые механизмы защиты. Однако накопленные данные о функционировании PAMP-индуцированного иммунитета и эффектор-индуцированного иммунитета свидетельствуют о том, что они представляют собой тесно взаимосвязанные компоненты единой интегрированной иммунной системы растений. В большинстве случаев ЕТИ активируется на фоне уже индуцированного РТИ, возникающего после распознавания PAMP поверхностными PRR-рецепторами, тогда как активация NLR-зависимого иммунитета в отсутствие РТИ наблюдается сравнительно редко. Взаимодействие между PRR- и NLR-опосредованными сигнальными путями реализуется через общие регуляторные узлы, включая генерацию активных форм кислорода, изменение потоков Ca^{2+} , а также сигнальные сети фитогормонов, что в конечном итоге приводит к активации защитных генов и усилению иммунного ответа. Такая интеграция обеспечивает высокую пластичность иммунной системы растений и позволяет быстро адаптироваться к изменяющимся условиям патогенеза.

Согласно концепции интегрированного иммунитета, PRR-рецепторы формируют первый эшелон защиты и являются первичными мишенями многочисленных эффекторов патогенов, тогда как NLR функционируют как нижележащий уровень иммунного контроля, распознающий эффекторную активность и обеспечивающий более мощный и устойчивый защитный ответ. Показательным примером такой координации является эффектор AvrAC/ХорАС бактерии *X. campestris*, который повышает вирулентность патогена у *Arabidopsis thaliana* посредством ин-

активации киназы BIK1 и подавления РТИ (рис. 3а) [66]. Одновременно AvrAC модифицирует цитоплазматический рецептороподобный белок PBL2, что обеспечивает распознавание эффектора и рекрутирование NLR ZAR1 вместе с киназой RKS1 для формирования иммунного комплекса, запускающего ЕТИ [65].

Многочисленные исследования свидетельствуют о выраженном синергизме между РТИ и ЕТИ, которые функционируют не как изолированные ветви иммунитета, а как взаимно усиливающие компоненты единой защитной системы растений (см. рис. 3б) [14]. PRR на поверхности клеток и внутриклеточные NLR-рецепторы действуют согласованно, формируя функционально взаимосвязимую сеть иммунного распознавания и передачи сигнала [67]. Так, у *Arabidopsis thaliana* предварительная активация ЕТИ бактериальным эффектором AvrRps4 существенно усиливает продукцию АФК, индуцированную flg22, хотя сам AvrRps4 не способен вызывать окислительный взрыв. Кроме того, предварительная или одновременная активация ЕТИ приводит к значительному увеличению экспрессии ключевых компонентов РТИ-ветви иммунитета, включая BIK1, RBOHD и MPK3 [68]. Более того, накопленные данные указывают на то, что эффективность NLR-опосредованного иммунитета во многом зависит от активации PRR. Например, у *A. thaliana* устойчивость к *Pseudomonas syringae* зависит от RRS1/RPS4 и RRS1B/RPS4B при развивающемся РТИ, однако мутант *rps4rps4b* не распознает эффектор патогена AvrRps4, распознаваемый NLR что демонстрирует недостаточность ЕТИ в отсутствие полноценной PRR-зависимой иммунной активации [68].

Кроме того, некоторые исследования подчеркивают взаимозависимость между сигнальными компонентами РТИ и ЕТИ (см. рис. 3в). Одним из ключевых интеграционных узлов считается сигнальный путь EDS1²³/PAD4-ADR1, который активируется как PRR так и внутриклеточными NLR-рецепторами, выступая точкой конвергенции защитных сигнальных каскадов и координации

²³ EDS1: Enhanced Disease Susceptibility 1 (центральный регулятор TIR-NLR-зависимого иммунитета).

руя развитие иммунных реакции [69]. Так, у *Arabidopsis thaliana* бактериальный эффектор avrRps4 активирует пару рецепторов RRS1-S/RPS4, а ответ ETI осуществляется двумя различными модулями EDS, EDS-SAG101 и EDS-PAD4, которые связываются с различными вспо-

могательными NLR-белками соответственно [70]. Показано также, что полноценная активация ETI многими NLR-рецепторами требует участия сигнального узла EDS1-SAG101-ADR1, подчеркивая его центральную роль в интеграции внутриклеточного иммунного сигналинга [71].

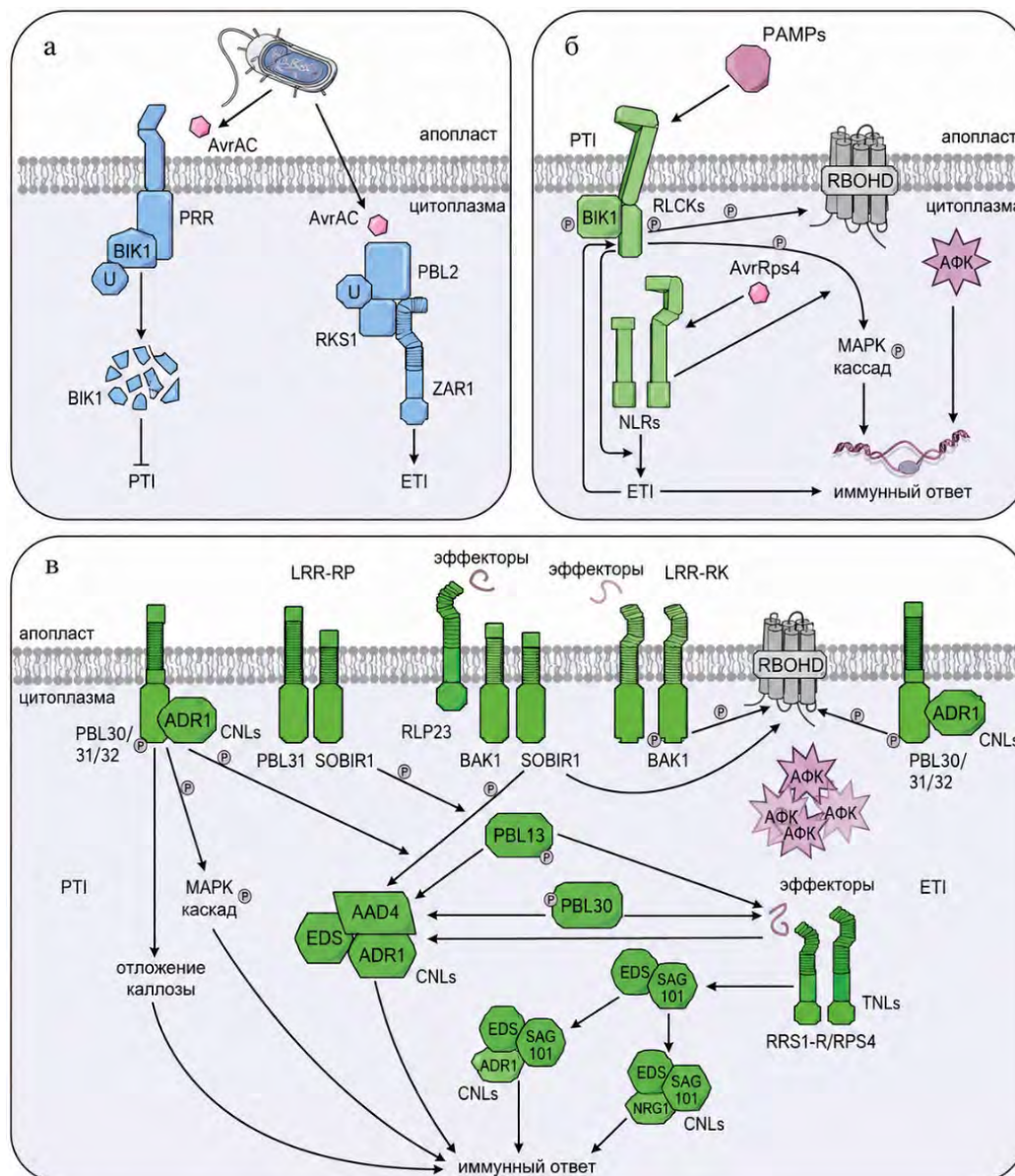


Рис. 3. Интегрированная модель взаимодействия между PRR (рецепторы распознавания паттернов) и NLR (рецепторы с нуклеотид-связывающим доменом и лейцин-богатыми повторами)

(а) Запуск ЕТИ (иммунитет, запускаемый эффекторами) при блокировке РТИ (иммунитет, запускаемый паттернами); (б) Синергия сигнальных путей PRR (рецептор распознавания паттернов) и NLR; (в) общность сигнальных путей PRR и NLR имеют общие сигнальные компоненты.

Стрелки и блокирующие линии указывают на положительную и отрицательную регуляцию соответственно. U – уридилирование, P – фосфорилирование.

Fig. 3. Integrated model of interactions between PRRs (Pattern Recognition Receptor) and NLRs (Nucleotide-binding Leucine-rich repeat Receptor)

(a) Triggering of ETI (Effector Triggered Immunity) upon blocking PTI (Pattern-Triggered Immunity); (b) Synergy of PRR (Pattern Recognition Receptor) and NLR signaling pathways; (c) Commonality of signaling pathways PRRs and NLRs share common signaling components.

Arrows and blocking lines indicate positive and negative regulation, respectively. U – uridylation, P – phosphorylation.

Роль АФК и Ca^{2+} в интеграции сигнальных путей РТИ и ЕТИ

РТИ и ЕТИ функционируют на различных временных отрезках и в различных частях клетки, что требует существования универсальных вторичных мессенджеров, способных передавать сигналы от рецепторов к внутриклеточным сигнальным сетям и координировать развитие иммунного ответа [72]. Все больше данных указывает на ключевую роль АФК и Ca^{2+} в интеграции и тонкой настройке сигнальных путей растительного иммунитета.

Генерация АФК представляет собой один из наиболее консервативных защитных ответов растений и преимущественно осуществляется NADPH-оксидазами RBOH [73]. Как РТИ, так и ЕТИ сопровождаются быстрым образованием АФК. Так, на ранних стадиях РТИ после того как PRR и BAK1 образуют рецепторный комплекс и связываются с лигандом (flg22), внутриклеточная киназа BIK1 индуцируется и фосфорилирует гомолог респираторной оксидазы D (RBOHD). Это приводит к быстрому образованию АФК, инициирующих развитие защитных реакций внутри клетки [77]. Этот процесс является критически важным сигналом не только для местного иммунитета, но и для межклеточной коммуникации [74]. Важнейшим регулятором активности RBOHD выступает кальциевый сигналинг. Показано, что Ca^{2+} -зависимые протеинкиназы способны дополнительно фосфорилировать RBOHD, усиливая продукцию АФК в ходе иммунного ответа [43].

Ионы Ca^{2+} являются универсальными вторичными мессенджерами во всех эукариотических организмах. Воздействие внешних стимулов вызывает быстрое и транзистентное повышение концентрации Ca^{2+} в цитоплазме, активирующее нижележащие компоненты иммунного ответа. Изменения уровня цитозольного Ca^{2+} наблюдаются

как после активации PRR, так и после активации NLR-рецепторов, причем важную роль в передаче этих сигналов играют киназы BIK1 и PBL1 [74]. В последние годы идентифицировано несколько типов плазматических Ca^{2+} -каналов, участвующих в иммунном сигналинге растений, включая каналы семейства CNGC и OSCA [44, 75].

Белки CNGC2 и CNGC4 формируют функциональный кальциевый канал, который в покое находится в состоянии ингибирования кальмодулином. После распознавания PAMP рецепторами PRR киназа BIK1 фосфорилирует CNGC4, что активирует кальциевый канал и вызывает увеличение концентрации цитозольного Ca^{2+} [44]. Аналогичным образом рецептор FLS2 после связывания flg22 индуцирует быстрое фосфорилирование Ca^{2+} -проницаемого канала OSCA1.3, что приводит к притоку кальция и участвует в регуляции закрытия устьиц [75].

Транзистентная динамика Ca^{2+} играет принципиальную роль в различении РТИ и ЕТИ. При заражении *Pseudomonas syringae* у *Arabidopsis thaliana* наблюдаются два пика цитозольного Ca^{2+} , причем второй характеризуется большей интенсивностью и продолжительностью, что отражает различия между РТИ- и ЕТИ-ассоциированными кальциевыми сигналами [76]. Для РТИ характерно кратковременное повышение концентрации Ca^{2+} , тогда как ЕТИ сопровождается более мощным и устойчивым притоком кальция. Данные указывают на то, что формирование Ca^{2+} -проницаемых каналов может представлять собой общий механизм активации NLR-рецепторов, а увеличение цитозольного Ca^{2+} выступает критическим сигналом для запуска защитных реакций и гиперчувствительной клеточной гибели при ЕТИ [77].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рецепторные сенсорные системы растений обеспечивают интеграцию сигналов, поступающих от патогенов, и инициируют многоуровневые каскады защитных реакций, последовательно усиливающих иммунный ответ на уровне клетки, ткани и всего организма. Современные данные свидетельствуют о том, что иммунная система растений функционирует как единая взаимосвязанная сеть, в которой РТИ и ЕТИ не являются изолированными механизмами, а представляют собой взаимодополняющие и функционально интегрированные компоненты иммунитета. В этом контексте РТИ можно рассматривать как базовый уровень иммунной активации, создающий платформу для последующего разворачивания ЕТИ, тогда как ЕТИ обеспечивает уси-

ление, пролонгацию и стабилизацию защитного сигналинга.

Между различными элементами PRR- и NLR-опосредованных сигнальных путей существует сложная система динамических взаимодействий, включающая перекрестную регуляцию, взаимное усиление сигналов и использование общих сигнальных узлов. Такая организация позволяет растениям гибко адаптировать интенсивность и специфику иммунного ответа к особенностям патогена и стадии инфекционного процесса. Координированное функционирование поверхностного и внутриклеточного иммунитета рассматривается сегодня как один из ключевых факторов устойчивости растений к широкому спектру микроорганизмов.

Несмотря на значительный прогресс в изучении молекулярных механизмов иммунитета растений, многие аспекты интеграции РТИ и ЕТИ остаются недостаточно изученными. Особенно актуальными остаются вопросы, связанные с механизмами сопряжения сигналов, генерируемых поверхностными PRR-рецепторами и внутриклеточными NLR-комплексами, а также с пространственно-временной организацией этих процессов

в клетке. Дальнейшее развитие структурной биологии, генетики и системной биологии иммунитета растений открывает перспективы для создания искусственно сконструированных иммунных рецепторов с расширенным спектром распознавания патогенов. Это направление рассматривается как одна из наиболее перспективных стратегий повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням в ближайшие годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tracing the role of human civilization in the globalization of plant pathogens / A. Santini, A. Liebhold, D. Migliorini [et al.] // *The ISME Journal*. – 2018. – Vol. 12, no. 3. – P. 647–652. – doi: 10.1038/s41396-017-0014-6.
2. Ergot: from witchcraft to biotechnology / T. Haarmann, Y. Rolke, S. Giesbert, P. Tudzynski // *Molecular Plant Pathology*. – 2009. – Vol. 10, no. 4. – P. 563–577. – doi: 10.1111/j.1364-3703.2009.00551.x.
3. Biffen, R. H. Mendel's Laws of Inheritance and Wheat Breeding / R. H. Biffen // *The Journal of Agricultural Science*. – 1905. – Vol. 1, no. 1. – P. 4–48. – doi: 10.1017/S002185960000002X.
4. Stakman, E. C. The determination of biologic forms of *Puccinia graminis* on *Triticum* spp. / E. C. Stakman, M. N. Levine // *Minnesota Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*. – 1922. – Vol. 8. – P. 1–10.
5. Flor, H. H. Inheritance of pathogenicity in *Melampsora lini* / H. H. Flor // *Phytopathology*. – 1942. – Vol. 32, no. 8. – P. 653–669.
6. Balint-Kurti, P. The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences / P. Balint-Kurti // *Molecular Plant Pathology*. – 2019. – Vol. 20, no. 8. – P. 1163–1178. – doi: 10.1111/mpp.12821.
7. Проблемы экспериментальной ботаники: к 100-летию со дня рождения В. Ф. Купревича / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук ; под ред. В. Ф. Парфенова. – Мн. : Беларуская навука, 1997. – 469 с.
8. Купревич, В. Ф. Физиология больного растения в связи с общими вопросами паразитизма / В. Ф. Купревич ; Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова АН СССР. – Л. : Изд-во АН СССР, 1947. – 300 с.
9. Серова, З. Я. Функции белков в фитопатогенезе / З. Я. Серова, Л. С. Юшко, Г. М. Подчуфарова ; под ред. З. Я. Серовой ; Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича АН Беларуси. – Мн. : Навука і тэхніка, 1992. – 270 с.
10. Bacterial lipopolysaccharides as inducers of disease resistance in tobacco / T. Graham, L. Sequeira, T. S. R. Huang // *Applied and Environmental Microbiology*. – 1977. – Vol. 34, no. 4. – P. 424–432.
11. Gómez-Gómez, L. FLS2: an LRR receptor-like kinase involved in the perception of the bacterial elicitor flagellin in *Arabidopsis* / L. Gómez-Gómez, T. Boller // *Molecular Cell*. – 2000. – Vol. 5, no. 6. – P. 1003–1011. – doi: 10.1016/S1097-2765(00)80265-8.
12. Jones, J. D. G. The plant immune system / J. D. G. Jones, J. L. Dangl // *Nature*. – 2006. – Vol. 444, no. 7117. – P. 323–329. – doi: 10.1038/nature05286.
13. Panstruga, R. What is the Molecular Basis of Nonhost Resistance? / R. Panstruga, M. J. Moscou // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. – 2020. – Vol. 33, no. 11. – P. 1253–1264. – doi: 10.1094/MPMI-06-20-0161-CR.
14. Plant immune networks / B. P. M. Ngou, J. D. G. Jones, P. Ding [et al.] // *Trends in Plant Science*. – 2022. – Vol. 27, no. 3. – P. 255–273. – doi: 10.1016/j.tplants.2021.10.003.
15. Boutrot, F. Function, discovery, and exploitation of plant pattern recognition receptors for broad-spectrum disease resistance / F. Boutrot, C. Zipfel // *Annual Review of Phytopathology*. – 2017. – Vol. 55. – P. 257–286. – doi: 10.1146/annurev-phyto-080615-100151.
16. Receptor kinases in plant-pathogen interactions: more than pattern recognition / D. Tang, G. Wang, J. M. Zhou [et al.] // *The Plant Cell*. – 2017. – Vol. 29, no. 4. – P. 618–637. – doi: 10.1105/tpc.16.00891.
17. The *Arabidopsis* receptor kinase FLS2 binds flg22 and determines the specificity of flagellin perception / D. Chinchilla, Z. Bauer, M. Regenass, T. Boller, G. Felix // *The Plant Cell*. – 2006. – Vol. 18, no. 2. – P. 465–476. – doi: 10.1105/tpc.105.038893.
18. Bacterial disease resistance in *Arabidopsis* through flagellin perception / C. Zipfel, S. Robatzek, L. Navarro [et al.] // *Nature*. – 2004. – Vol. 428, no. 6984. – P. 764–767. – doi: 10.1038/nature02485.
19. Perception of the bacterial PAMP EF-Tu by the receptor EFR restricts *Agrobacterium*-mediated transformation / C. Zipfel, G. Kunze, D. Chinchilla [et al.] // *Cell*. – 2006. – Vol. 125, no. 4. – P. 749–760. – doi: 10.1016/j.cell.2006.03.037.
20. New insights on leucine-rich repeats receptor-like kinase orthologous relationships in Angiosperms / J. F. Dufayard, M. Bettembourg, I. Fischer [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2017. – Vol. 8. – Art. 381. – doi: 10.3389/fpls.2017.00381.
21. Bartels, S. Quo vadis, Pep? Plant elicitor peptides at the crossroads of immunity, stress, and development / S. Bartels, T. Boller // *Journal of Experimental Botany*. – 2015. – Vol. 66, no. 17. – P. 5183–5193. – doi: 10.1093/jxb/erv183.
22. Isolation of the tomato Cf-9 gene for resistance to *Cladosporium fulvum* by transposon tagging / D. A. Jones, C. M. Thomas, K. E. Hammond-Kosack [et al.] // *Science*. – 1994. – Vol. 266, no. 5186. – P. 789–793. – doi: 10.1126/science.7961612.

23. The Brassica napus blackleg resistance gene LepR3 encodes a receptor-like protein triggered by the *Leptosphaeria maculans* effector AVR/LM1 / N. J. Larkan, D. J. Lydiate, I. A. P. Parkin [et al.] // *New Phytologist*. – 2013. – Vol. 197, no. 2. – P. 595–605. – doi: 10.1111/nph.12043.
24. Plant LysM proteins: modules mediating symbiosis and immunity / A. A. Gust, R. Willmann, Y. Desaki [et al.] // *Trends in Plant Science*. – 2012. – Vol. 17, no. 8. – P. 495–502. – doi: 10.1016/j.tplants.2012.04.003.
25. Iizasa, E. Direct binding of a plant LysM receptor-like kinase, LysM RLK1/CERK1, to chitin in vitro / E. Iizasa, M. Mitsutomi, Y. Nagano // *Journal of Biological Chemistry*. – 2010. – Vol. 285, no. 5. – P. 2996–3004. – doi: 10.1074/jbc.M109.060541.
26. Chitin-induced dimerization activates a plant immune receptor / T. Liu, Z. Liu, C. Song [et al.] // *Science*. – 2012. – Vol. 336, no. 6085. – P. 1160–1164. – doi: 10.1126/science.1218430.
27. The lysin motif receptor-like kinase (LysM-RLK) CERK1 is a major chitin-binding protein in *Arabidopsis thaliana* and subject to chitin-induced phosphorylation / E. K. Petutschnig, A. M. E. Jones, L. Serazetdinova [et al.] // *Journal of Biological Chemistry*. – 2010. – Vol. 285, no. 37. – P. 28902–28911. – doi: 10.1074/jbc.M110.116657.
28. Two LysM receptor molecules, CEBiP and OsCERK1, cooperatively regulate chitin elicitor signaling in rice / T. Shimizu, T. Nakano, D. Takamizawa [et al.] // *The Plant Journal*. – 2010. – Vol. 64, no. 2. – P. 204–214. – doi: 10.1111/j.1365-3113X.2010.04336.x.
29. Lysin motif-containing proteins LYP4 and LYP6 play dual roles in peptidoglycan and chitin perception in rice innate immunity / B. Liu, J. F. Li, Y. Ao [et al.] // *The Plant Cell*. – 2012. – Vol. 24, no. 8. – P. 3406–3419. – doi: 10.1105/tpc.112.102475.
30. Ligand recognition and signal transduction by lectin receptor-like kinases in plant immunity / L. Liu, J. Liu, N. Xu [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1201805. – doi: 10.3389/fpls.2023.1201805.
31. A lectin S-domain receptor kinase mediates lipopolysaccharide sensing in *Arabidopsis thaliana* / S. Ranf, N. Gisch, M. Schäffer [et al.] // *Nature Immunology*. – 2015. – Vol. 16, no. 4. – P. 426–433. – doi: 10.1038/ni.3124.
32. PWL1, a G-type lectin receptor-like kinase, positively regulates leaf senescence and heat tolerance but negatively regulates resistance to *Xanthomonas oryzae* in rice / J. Xu, C. Wang, F. Wang [et al.] // *Plant Biotechnology Journal*. – 2023. – Vol. 21, no. 12. – P. 2525–2545. – doi: 10.1111/pbi.14152.
33. Genome-wide identification of lectin receptor kinases in pear: Functional characterization of the L-type LecRLK gene PbLRK138 / N. Ma, C. Liu, H. Li [et al.] // *Gene*. – 2018. – Vol. 661. – P. 11–21. – doi: 10.1016/j.gene.2018.03.076.
34. Cambi, A. How C-type lectins detect pathogens / A. Cambi, M. Koopman, C. G. Figdor // *Cellular Microbiology*. – 2005. – Vol. 7, no. 4. – P. 481–488. – doi: 10.1111/j.1462-5822.2005.00506.x.
35. PTI-ETI synergistic signal mechanisms in plant immunity / X.-Q. Yu, H.-Q. Niu, C. Liu [et al.] // *Plant Biotechnology Journal*. – 2024. – Vol. 22, no. 8. – P. 2113–2128. – doi: 10.1111/pbi.14329.
36. The receptor-like kinase SERK3/BAK1 is a central regulator of innate immunity in plants / A. Heese, D. R. Hann, S. Gimenez-Ibanez [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2007. – Vol. 104, no. 29. – P. 12217–12222. – doi: 10.1073/pnas.0701306104.
37. The membrane-anchored BOTRYTIS-INDUCED KINASE 1 plays distinct roles in resistance to necrotrophic and biotrophic pathogens / P. Veronese, H. Nakagami, B. Bluhm [et al.] // *The Plant Cell*. – 2006. – Vol. 18, no. 1. – P. 257–273. – doi: 10.1105/tpc.105.035576.
38. DeFalco, T. A. Molecular mechanisms of early plant pattern-triggered immune signaling / T. A. DeFalco, C. Zipfel // *Molecular Cell*. – 2021. – Vol. 81, no. 17. – P. 3449–3467. – doi: 10.1016/j.molcel.2021.07.021.
39. BIK1 protein homeostasis is maintained by the interplay of different ubiquitin ligases in immune signaling / J. Bai, Y. Zhou, J. Sun [et al.] // *Nature Communications*. – 2023. – Vol. 14. – Art. 4624. – doi: 10.1038/s41467-023-40342-2.
40. Distinct Molecular Pattern-Induced Calcium Signatures Lead to Different Downstream Transcriptional Regulations via AtSR1/CAMTA3 / P. Yuan, J. B. Jewell, S. Behera [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – Vol. 21, no. 21. – Art. 8163. – doi: 10.3390/ijms21218163.
41. Kadota, Y. Regulation of the NADPH oxidase RBOHD during plant immunity / Y. Kadota, K. Shirasu, C. Zipfel // *Plant and Cell Physiology*. – 2015. – Vol. 56, no. 8. – P. 1472–1480. – doi: 10.1093/pcp/pcv063.
42. A calmodulin-gated calcium channel links pathogen patterns to plant immunity / W. Tian, C. Hou, Z. J. Ren [et al.] // *Nature*. – 2019. – Vol. 572, no. 7767. – P. 131–135. – doi: 10.1038/s41586-019-1413-y.
43. An RLP23-SOBIR1-BAK1 complex mediates NLP-triggered immunity / I. Albert, H. Böhm, M. Albert [et al.] // *Nature Plants*. – 2015. – Vol. 1, no. 10. – Art. 15140. – doi: 10.1038/nplants.2015.140.
44. Couto, D. Regulation of pattern recognition receptor signalling in plants / D. Couto, C. Zipfel // *Nature Reviews Immunology*. – 2016. – Vol. 16, no. 9. – P. 537–552. – doi: 10.1038/nri.2016.77.
45. CERK1, more than a co-receptor in plant–microbe interactions / C. Yang, E. Wang, J. Liu [et al.] // *New Phytologist*. – 2022. – Vol. 234, no. 5. – P. 1606–1613. – doi: 10.1111/nph.18047.
46. Antifungal defensins and their role in plant defense / A. F. Lacerda, E. A. Vasconcelos, P. B. Pelegrini, M. F. Grossi-de-Sa // *Frontiers in Microbiology*. – 2014. – Vol. 5. – Art. 116. – doi: 10.3389/fmicb.2014.00116.
47. The receptor-like cytoplasmic kinase BIK1 localizes to the nucleus and regulates defense hormone expression during plant innate immunity / N. K. Lal, U. Nagalakshmi, N. K. Hurlburt [et al.] // *Cell Host & Microbe*. – 2018. – Vol. 23, no. 4. – P. 485–497. – doi: 10.1016/j.chom.2018.03.010.
48. Ngou, B. P. M. Thirty years of resistance: Zig-zag through the plant immune system / B. P. M. Ngou, P. Ding, J. D. G. Jones // *The Plant Cell*. – 2022. – Vol. 34, no. 5. – P. 1447–1478. – doi: 10.1093/plcell/koac041.

49. Evasion of plant immunity by microbial pathogens / Y. Wang, R. N. Pruitt, T. Nürnberger [et al.] // *Nature Reviews Microbiology*. – 2022. – Vol. 20, no. 8. – P. 449–464. – doi: 10.1038/s41579-022-00710-3.
50. A telomeric avirulence gene determines efficacy for the rice blast resistance gene Pita / M. J. Orbach, L. Farrall, J. A. Sweigard [et al.] // *The Plant Cell*. – 2000. – Vol. 12, no. 11. – P. 2019–2032. – doi: 10.1105/tpc.12.11.2019.
51. Zhang, S. Effectors and effector delivery in *Magnaporthe oryzae* / S. Zhang, J. R. Xu // *PLoS Pathogens*. – 2014. – Vol. 10, no. 1. – Art. e1003826. – doi: 10.1371/journal.ppat.1003826.
52. Van der Biezen, E. A. Plant disease-resistance proteins and the gene-for-gene concept / E. A. Van der Biezen, J. D. Jones // *Trends in Biochemical Sciences*. – 1998. – Vol. 23, no. 12. – P. 454–456. – doi: 10.1016/S0968-0004(98)01311-5.
53. Arabidopsis RIN4 is a target of the type III virulence effector AvrRpt2 and modulates RPS2-mediated resistance / D. Mackey, Y. Belkadir, J. M. Alonso [et al.] // *Cell*. – 2003. – Vol. 112, no. 3. – P. 379–389. – doi: 10.1016/S0092-8674(03)00040-0.
54. Van der Hoorn, R. A. From guard to decoy: a new model for perception of plant pathogen effectors / R. A. Van der Hoorn, S. Kamoun // *The Plant Cell*. – 2008. – Vol. 20, no. 8. – P. 2009–2017. – doi: 10.1105/tpc.108.060194.
55. Direct protein interaction underlies gene-for-gene specificity and coevolution of the flax resistance genes and flax rust avirulence genes / P. N. Dodds, G. J. Lawrence, A. M. Catanzariti [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2006. – Vol. 103, no. 23. – P. 8888–8893. – doi: 10.1073/pnas.0602577103.
56. A wheat resistosome defines common principles of immune receptor channels / A. Forderer, E. Li, A. W. Lawson [et al.] // *Nature*. – 2022. – Vol. 610, no. 7932. – P. 532–539. – doi: 10.1038/s41586-022-05231-w.
57. Help wanted: helper NLRs and plant immune responses / L. Jubin, S. Saile, O. Furzer [et al.] // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2019. – Vol. 50. – P. 82–94. – doi: 10.1016/j.pbi.2019.03.013.
58. Two adjacent nucleotide-binding site-leucine-rich repeat class genes are required to confer Pikm-specific rice blast resistance / I. Ashikawa, N. Hayashi, H. Yamane [et al.] // *Genetics*. – 2008. – Vol. 180, no. 4. – P. 2267–2276. – doi: 10.1534/genetics.108.095034.
59. RRS1 and RPS4 provide a dual resistance-gene system against fungal and bacterial pathogens / M. Narusaka, K. Shirasu, Y. Noutoshi [et al.] // *The Plant Journal*. – 2009. – Vol. 60, no. 2. – P. 218–226. – doi: 10.1111/j.1365-3113.2009.03949.x.
60. A receptor pair with an integrated decoy converts pathogen disabling of transcription factors to immunity / C. Le Roux, G. Huet, A. Jauneau [et al.] // *Cell*. – 2015. – Vol. 161, no. 5. – P. 1074–1088. – doi: 10.1016/j.cell.2015.04.025.
61. Structural basis of pathogen recognition by an integrated HMA domain in a plant NLR immune receptor / A. Maqbool, H. Saitoh, M. Franceschetti [et al.] // *Elife*. – 2015. – Vol. 4. – Art. e08709. – doi: 10.7554/eLife.08709.
62. RefPlantNLR is a comprehensive collection of experimentally validated plant disease resistance proteins from the NLR family / J. Kourelis, T. Sakai, H. Adachi, S. Kamoun // *PLoS Biology*. – 2021. – Vol. 19, no. 3. – Art. e3001124. – doi: 10.1371/journal.pbio.3001124.
63. New biochemical principles for NLR immunity in plants / J. J. Chai, W. Song, J. E. Parker [et al.] // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. – 2023. – Vol. 36, no. 8. – P. 468–475. – doi: 10.1094/MPMI-01-23-0005-CR.
64. Ligand-triggered allosteric ADP release primes a plant NLR complex / J. Wang, J. Wang, M. Hu [et al.] // *Science*. – 2019. – Vol. 364, no. 6435. – Art. eaav5868. – doi: 10.1126/science.aav5868.
65. The ZAR1 resistosome is a calcium-permeable channel triggering plant immune signaling / G. Bi, M. Su, N. Li [et al.] // *Cell*. – 2021. – Vol. 184, no. 13. – P. 3528–3541. – doi: 10.1016/j.cell.2021.05.003.
66. TaNAC1 acts as a negative regulator of stripe rust resistance in wheat, enhances susceptibility to *Pseudomonas syringae*, and promotes lateral root development in transgenic *Arabidopsis thaliana* / F. Wang, R. Lin, J. Feng [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. – 2015. – Vol. 6. – Art. 108. – doi: 10.3389/fpls.2015.00108.
67. Concerted expansion and contraction of immune receptor gene repertoires in plant genomes / B. P. Ngou, R. Heal, M. Wyler [et al.] // *Nature Plants*. – 2022. – Vol. 8, no. 10. – P. 1146–1152. – doi: 10.1038/s41477-022-01260-0.
68. Mutual potentiation of plant immunity by cell-surface and intracellular receptors / B. P. M. Ngou, H. K. Ahn, P. Ding [et al.] // *Nature*. – 2021. – Vol. 592, no. 7852. – P. 110–115. – doi: 10.1038/s41586-021-03315-7.
69. The EDS1-PAD4-ADR1 node mediates Arabidopsis pattern-triggered immunity / R. N. Pruitt, F. Locci, F. Wanke [et al.] // *Nature*. – 2021. – Vol. 598, no. 7881. – P. 495–499. – doi: 10.1038/s41586-021-04006-5.
70. Dongus, J. A. EDS1 signalling: At the nexus of intracellular and surface receptor immunity / J. A. Dongus, J. E. Parker // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2021. – Vol. 62. – Art. 102039. – doi: 10.1016/j.pbi.2021.102039.
71. Pathogen effector recognition-dependent association of NRG1 with EDS1 and SAG101 in TNL receptor immunity / X. Sun, D. Lapin, J. M. Feehan [et al.] // *Nature Communications*. – 2021. – Vol. 12, no. 1. – Art. 3335. – doi: 10.1038/s41467-021-23614-x.
72. Mutual interplay of Ca(2+) and ROS signaling in plant immune response / M. Marcec, S. Gilroy, B. W. Poovaiah, K. Tanaka [et al.] // *Plant Science*. – 2019. – Vol. 283. – P. 343–354. – doi: 10.1016/j.plantsci.2019.03.006.
73. Liu, Y. Regulation of plant reactive oxygen species (ROS) in stress responses: learning from AtRBOHD / Y. Liu, C. He // *Plant Cell Reports*. – 2016. – Vol. 35, no. 5. – P. 995–1007. – doi: 10.1007/s00299-016-1934-2.
74. Microbe-associated molecular pattern-induced calcium signaling requires the receptor-like cytoplasmic kinases, PBL1 and BIK1 / S. Ranf, L. Eschen-Lippold, K. Fröhlich [et al.] // *BMC Plant Biology*. – 2014. – Vol. 14. – Art. 374. – doi: 10.1186/s12870-014-0374-4.
75. The calcium-permeable channel OSCA1.3 regulates plant stomatal immunity / K. Thor, S. Jiang, E. Michard [et al.] // *Nature*. – 2020. – Vol. 585, no. 7826. – P. 569–573. – doi: 10.1038/s41586-020-2702-1.

76. Ca²⁺ signals in plant immunity / P. Köster, T. A. DeFalco, C. Zipfel // The EMBO Journal. – 2022. – Vol. 41, no. 14. – Art. e110741. – doi: 10.15252/embj.2022.110741.

77. Suppression of ETI by PTI priming to balance plant growth and defense through an MPK3/MPK6-WRKYs-PP2Cs module / D. Wang, L. Wei, T. Liu [et al.] // Molecular Plant. – 2023. – Vol. 16, no. 5. – P. 903–918. – doi: 10.1016/j.molp.2023.04.003.

Поступила в редакцию 26.05.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванов Олег Александрович – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и биотехнологии растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Демидчик Вадим Викторович – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории иммунитета и биотехнологии растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Иванов, О. А. Взаимодействие растений и патогенов: роль рецепторных систем, сигнальных каскадов и регуляторных молекул / О. А. Иванов, В. В. Демидчик // Ботаника (исследования) / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Минск, 2026. – Вып. 57. – С. 226–239.

УДК 581.14:58.035.4:581.143

О. В. МОЛЧАН

ПОТЕНЦИАЛ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ КАК ЭФФЕКТИВНОГО ИНСТРУМЕНТА В БИОТЕХНОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: biophotonika@botany.by*

Аннотация. Использование светоизлучающих диодов (LEDs) является инновационным подходом, который имеет большие перспективы для создания и оптимизации систем освещения и управления морфогенетическими, ростовыми и метаболическими процессами растений *in vivo* и *in vitro*. Узкий диапазон излучения позволяет создавать спектр освещения, необходимый растению в зависимости от фазы роста и целей культивирования. Спектральный состав света влияет на рост, морфогенез и метаболизм растений в культуре *in vitro*, определяя интенсивность пролиферации, эмбриогенеза, роста микроклонов, ризогенеза, формирования листьев и фотосинтеза, процессов вторичного метаболизма и др. С помощью LED-освещения можно регулировать активность ферментов, экспрессию генов и белков, функционирование эндогенных фитогормональных систем. Цель данной обзорной статьи – оценить потенциал современных LED-технологий в отношении клеточных культур и его использования в качестве инструмента в биотехнологии растений, в т.ч. во взаимодействии с другими факторами культивирования.

Ключевые слова: светоизлучающие диоды (LEDs), спектральный состав света, биотехнология растений.

O. V. MOLCHAN

LED LIGHTING AS AN EFFICIENT TOOL IN PLANT BIOTECHNOLOGY

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus, e-mail: biophotonika@botany.by*

Abstract. The use of light-emitting diodes (LEDs) is an innovative approach that holds great promise for the creation and optimization of lighting systems for the control of plant morphogenetic, growth, and metabolic processes *in vivo* and *in vitro*. A narrow range of emission allows to create the lighting spectrum required by a plant, depending on the growth phase and cultivation objectives. The spectral composition of light influences the growth, morphogenesis, and metabolism of plants *in vitro*, determining the intensity of proliferation, embryogenesis, microclonal growth, root and leaf formation, photosynthesis, secondary metabolism processes, and more. LED lighting can regulate enzyme activity, gene and protein expression, and the functioning of endogenous phytohormonal systems. The purpose of this review article is to assess the potential of modern LED technologies for cell culture and their use as a tool in plant biotechnology in interaction with other cultivation factors.

Key words: light-emitting diodes (LED), spectral quality, plant biotechnology.

ВВЕДЕНИЕ

Светоизлучающие диоды (LEDs, Light-Emitting Diodes) – твердотельные полупроводниковые диоды, излучающие свет при прохождении электрического тока. Начало LED-технологиям положила разработка в 1960-х гг. красных (К) и инфракрасных (ИК) полупроводниковых устройств на основе галлия арсенида [1]. В 1990-е гг. появляются доступные синие (С) LEDs [2]. Современные синие LEDs на основе гетероструктурного кристалла нитрида галлия и нитрида индия-галлия имеют множество применений, включая информационные технологии и телекоммуникации. Сегодня получены диоды, излучающие свет в любом спектральном диапазоне

от 300 до 800 нм (табл.) [3], а с использованием их комбинаций можно получить любое видимое излучение, включая белый свет. За последние десятилетия LED-технология активно развивалась в направлении повышения эффективности, качества и снижения стоимости. Полупроводниковая светотехника уже широко применяется в промышленном, уличном, офисном и бытовом освещении, однако ее потенциал в качестве эффективной альтернативы традиционным источникам света еще до конца не реализован. Например, ее пока не удастся широко использовать в промышленном тепличном растениеводстве и биотехнологических лабораториях. Однако появля-

ются новые технологические подходы, поэтому в мире не останавливается рост интереса к изучению влияния LED-освещения на растительный организм для оценки потенциала его использования [4].

Исследования эффектов LED-освещения на растения ведутся около 35 лет. Первые работы о применении LEDs для выращивания растений начали появляться в конце 1980-х – начале 1990-х гг. Например, NASA в 1990 гг. уже про-

водило исследования возможности применения К LEDs для выращивания растений в космосе [5]. Активный рост публикаций о влиянии LED-освещения на рост растений приходится на 2000-е гг. В последние годы с появлением доступных по цене LED-технологий, позволяющих получить световой поток высокой интенсивности, появляется возможность их полноценного использования для промышленного культивирования растений.

Таблица. Диапазон длин волн, излучаемый свет и полупроводниковый материал коммерчески доступных LEDs [3]

Table. Wavelength range, emitted light, and semiconductor material of commercially available LEDs

Длина волны, нм	Свет	Полупроводниковый материал
<400	ультрафиолетовый	алюминия нитрид алюминия-галлия нитрид алюминия-галлия-индия нитрид
400–450	фиолетовый	индия-галлия нитрид
450–500	синий	индия-галлия нитрид кремния карбид
500–570	зеленый	галлия фосфид алюминия-галлия-индия фосфид алюминия-галлия фосфид
570–590	желтый	галлия-арсенида фосфид галлия фосфид алюминия-галлия-индия фосфид
590–610	оранжевый	галлия-арсенида фосфид алюминия-галлия-индия фосфид галлия фосфид
610–760	красный	алюминия-галлия арсенид галлия-арсенида фосфид алюминия-галлия-индия фосфид галлия фосфид
>760	инфракрасный	галлия арсенид алюминия-галлия арсенид

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ LED-ОСВЕЩЕНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

Преимущества использования LED-источников света для культивирования растений

LED-источники становятся все более популярными в сравнении с традиционными системами освещения благодаря ряду преимуществ, основным из которых считается высокая эффективность преобразования электрической энергии. Для получения эквивалентного потока фотонов требуется потребление значительно меньшего количества энергии по сравнению с лампами ДНаТ, широко применяемыми в промышленном растениеводстве, и даже с флуоресцентными лампами (ФЛ), являющимися традиционным источником света, используемым для размножения и культивирования растений *in vitro*. Низкое энергопотребление LEDs делает коммерческое размножение и выращивание растений экономически более выгодным. Кроме того, выделение тепла в LED-системах ниже, чем у ДНаТ

и ФЛ, что упрощает поддержание микроклимата. Относительно низкая температура излучающей поверхности и малогабаритность позволяют размещать LED-облучатели в непосредственной близости от растения без опасений вызвать какие-либо повреждения или фотостресс. LED-источники света являются более долговечными: при правильной установке и условиях эксплуатации типичный срок службы составляет от 25 до 100 тыс. ч., в то время как ФЛ обычно рассчитаны на работу в течение 10–15 тыс. ч. [3]. LED-устройства более безопасны, поскольку не содержат ртути и стекла, что позволяет снизить затраты на их утилизацию, характеризуются низкой пожароопасностью, ударной, вибро- и влагоустойчивостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред.

Но самое важное преимущество LEDs – это узкополосное излучение и возможность получать свет практически любой длины волны в диапазоне физиологически активной радиации (ФАР), необходимой для функционирования растительного организма. Интеграция LED-системы с цифровым управлением обуславливает возможности точного манипулирования качеством и интенсивностью света, настройки и контроля спектрального состава в соответствии с потребностями растения. По сути, это первый источник света, позволяющий осуществлять реальный контроль и целенаправленную регуляцию роста, развития и продуктивности растений.

Основным недостатком LED-источников является стоимость. Часто попытки производителей для снижения себестоимости использовать дешёвую ненадёжную элементную базу, экономить на отведении тепла приводят к ухудшению качества, изменению спектрального состава света в течение эксплуатации и снижению срока службы светильников. Однако первоначальные затраты быстро снижаются с развитием LED-технологий и могут быть минимизированы за счет экономии электроэнергии.

Регуляция светом процессов фотоморфогенеза и фотосинтеза

Свет влияет практически на все аспекты жизни растений, поскольку это один из наиболее важных факторов окружающей среды, используемый ими как уникальный источник информации, оказывающий непосредственное воздействие на рост и развитие, и как источник энергии в процессах фотосинтеза. В растительной клетке функционирует сложная регуляторная система, позволяющая растению оперативно реагировать на любое, даже самое незначительное, изменение количества (интенсивности, дозы, фотопериода) и качества (длины волны) света и соответственно регулировать рост, морфогенез, фотосинтез и биосинтез метаболитов. Первичная рецепция света растением происходит в двух системах – фотоморфогенетической (белками фоторецепторами в цитоплазме и ядре) и фотосинтетической (пигментами в хлоропластах). Фоторецепторные структуры поглощают свет всех длин волн ФАР от 280 до 750 нм. Фотосинтетические пигменты, хлорофиллы и каротиноиды, в составе светособирающих комплексов и реакционных центров фотосистем хлоропластов участвуют в поглощении и превращении энергии света в энергию химических соединений в процессах фотосинтеза, тем самым обеспечивая жизнедеятельность клетки и растения. Системы фотоморфогенеза регулируют рост и развитие, в том числе и фотосинтетическую деятельность, в ре-

Все ранее перечисленные характеристики делают LED-освещение потенциально эффективным инструментом в биотехнологии растений. Узкий диапазон длин волн излучения позволяет создавать LED-композиции, оптимальные для изучения и модулирования физиологических характеристик, процессов пролиферации, морфогенеза и биосинтеза культивируемых *in vitro* клеток и тканей, адаптации растений-регенерантов *ex vitro*, решения различных биотехнологических задач. Возможность регулировать плотность потока фотонов (ППФ) и продолжительность излучения в пределах каждой спектральной составляющей на определенной фазе роста с учетом целей и задач предоставляет дополнительные возможности оптимизировать технологию культивирования растений *in vitro*. До сих пор в большинстве исследований изучали LED-освещение в тепличном растениеводстве как регулятор роста и урожайности сельскохозяйственных растений [3]. И несмотря на то, что в последнее время появляется все больше работ по использованию LED-освещения в биотехнологии растений, очень мало данных о том, какой же режим применения LED-источников является наиболее эффективным для конкретных видов растений, целей и задач их культивирования.

В результате активации белков-фоторецепторов в ответствии с доступным освещением. Идентифицировано пять классов фоторецепторов, позволяющих растениям реагировать на широкий спектр света, от УФ-В до дальнего красного (ДК): фитохромы, криптохромы, фототропины, *zeitlupe* и UVR8 (рис. 1). Фитохромы, основные рецепторы для восприятия К и ДК света (600–750 нм), отвечают за рост клеток, прорастание семян, синдром «избегания тени», процессы этиоляции-деэтиоляции и др. [6]. Синий (С) свет (400–500 нм) могут поглощать несколько классов фоторецепторов: криптохромы, фототропины, семейство белков *zeitlupe* и, так называемый, локус устойчивости к УФ-излучению UVR8. Криптохромы, которые также отвечают за поглощение зеленого (З) света, участвуют в различных процессах роста и развития, включая деление клеток, ветвление, цветение, деэтиоляцию [7]. Фототропины, способные поглощать еще и ближнее УФ-излучение (УФ-А, 315–400 нм), в основном регулируют фототропические ответы растения, но также опосредуют такие процессы, как движение хлоропластов и открытие устьиц [8]. Класс *zeitlupe* участвует в фотопериодической активации цветения и регуляции циркадных ритмов [9]. Наконец, UVR8, поглощая УФ-В (280–315 нм), запускает процессы адаптации к избыточному интенсивному освещению, препятствуя фотоповреждению [10].

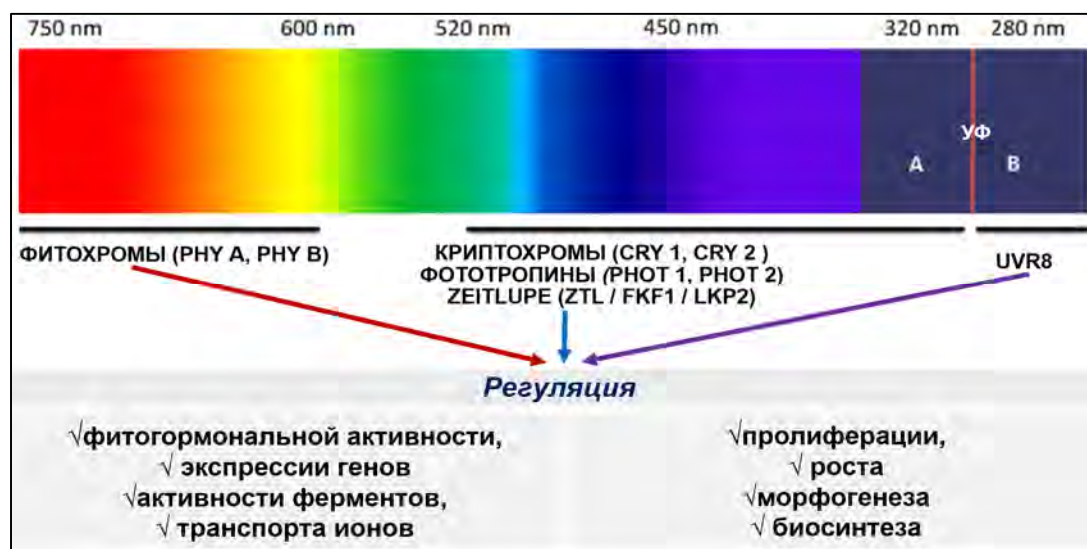


Рис. 1. Системы фотоморфогенеза растений

Fig. 1. Plant photomorphogenesis systems

Благодаря фоторецепторам растения способны оценивать длину волны, интенсивность, направление, а также продолжительность действия света и трансформировать полученную информацию в системах фотоморфогенетической регуляции [6–10]. Свет через процессы фотоморфогенеза модулирует активность фитогормонов и ферментов, транспорт ионов, биосинтез и транспорт метаболитов, контролирует экспрессию генов, в том числе, и «фотосинтетических». В целом, светозависимая регуляция фитогормональных систем и экспрессии генов, а значит процессы роста и морфогенеза, является резуль-

татом как фотосинтетической, так и фоторецепторной активности. Таким образом, качество света (спектральный состав), его количество (ППФ) и фотопериод оказывают влияние на все процессы в растительных клетках, тканях, органах и целых растениях. Поэтому варьирование и оптимизация параметров LED-освещения позволяет контролировать рост и развитие растений, культивируемых *in vitro*, регулировать баланс между скоростью пролиферации и морфогенеза, ростом, накоплением биомассы и биосинтезом первичных и вторичных метаболитов в клеточных культурах [3, 11].

LED-освещение в биотехнологии растений

В настоящее время биотехнология является активно развивающейся областью, важнейшим инструментом во всех аспектах исследования растений, а также широко используется для производства разнообразной продукции растительного происхождения. Биотехнологические подходы применяют для молекулярного анализа, улучшения, размножения и отбора элитных сортов хозяйственно ценных растений [11–13]. Ряд фармакологически ценных метаболитов производится с использованием культур растительных клеток, тканей и органов [12]. Активно развиваются новые методы и подходы: нанобиотехнология, редактирование генома, генетическая трансформация растений и др. [13].

Ключевыми процессами биотехнологии растений является культивирование и пролиферация клеток и растений *in vitro* [11]. Культивирование *in vitro* подразумевает выращивание клеток, тканей и органов, выделенных из материнского растения, в асептических контролируемых условиях на искусственных твердых или жидких

питательных средах, содержащих минеральные соли, витамины, углеводы и фитогормоны. Проллиферация – активное деление, размножение и наращивание биомассы растительных клеток, тканей или органов (микропобегов) в искусственных стерильных условиях на специальных питательных средах. Главную роль в процессах пролиферации играют цитокинины, часто в комбинации с ауксинами, стимулирующие деление клеток и пробуждение боковых почек. Клетки быстро делятся, формируя недифференцированную массу (каллус) или множество мелких боковых побегов (микрорклонов).

Клональное микроразмножение

Микроразмножение, клонирование и культивирование *in vitro* позволяет за короткий срок получить тысячи генетически идентичных клонов из одного материнского экспланта и является важным инструментом размножения растений [11]. Хорошо известно о преимуществах использования этого метода. Прежде всего, это возможность ускоренного размножения экономически

значимых, а также редких и находящихся под угрозой исчезновения растений, которые плохо поддаются традиционному черенкованию или размножению семенами. Метод позволяет размножать и выращивать их круглый год независимо от сезона и погодных условий. Это лучший способ получения генетически однородного растительного материала и растений, свободных от патогенов (вирусов, грибов и бактерий). Технология ускоряет селекцию, получение новых сортов, обеспечивает повышение производительности и сокращение площадей. При этом ее широкомасштабное использование может быть ограничено методическими сложностями и видоспецифичностью отклика процессов пролиферации и органогенеза растений *in vitro* на биотехнологические манипуляции, плохой приживаемостью растений-регенерантов в условиях адаптации *ex vitro*.

Многие исследования показали эффективность использования LED-освещения, в т.ч. в сравнении с ФЛ, для стимуляции пролиферации, роста и морфогенеза растений *in vitro*. Продемонстрирована важность спектральных свойств света для пролиферации побегов, ризогенеза, индукции соматического эмбриогенеза, формирования и роста листьев, фотосинтетической активности растений, процессов первичного и вторичного метаболизма *in vitro* [3, 11]. Различные морфологические, анатомические и физиологические признаки, интенсивность образования и удлинения побега, индукция соматического зародыша, активность ризогенеза, формирование листьев и фотосинтетическая продуктивность растений *in vitro* регулируются спектральными свойствами LED-освещения. Следует, однако, отметить, что к настоящему времени в большей части исследований использованы монохроматические К и С LEDs или их комбинации, поэтому потенциал LED-источников света остается далеко не раскрытым. Применение более универсального и эффективного источника света для регенерации и роста растений *in vitro* может открыть новые возможности в коммерческом микроразмножении.

К LEDs. Фотосинтетическая эффективность в сочетании с высоким КПД, характерные для К LEDs, стимулировала многих исследователей использовать для освещения растений прежде всего именно их. К свет, обычно базовый в спектрах LED-освещения, в принципе достаточен для фотосинтеза. Однако длительное культивирование при монохроматическом К, несмотря на его исключительную важность, часто приводит к ингибированию ростовых и морфогенетических процессов в результате снижения эффективности фотосинтеза и, так называемого, «red light

syndrome» [14]. В ряде работ показана стимуляция монохроматическим К светом процессов пролиферации. Например, К свет эффективен для пролиферации побегов у *Gerbera jamesonii*, *Spathiphyllum cannifolium*, *Stevia rebaudiana* и *Mirtus communis* [15–18]. В то же время, у *Vanilla planifolia* и *Anthurium andreanum* при К наблюдали более низкий коэффициент пролиферации, чем при комбинации К + С или при белом (Б) освещении [19, 20]. Отмечена индукция К светом соматического эмбриогенеза у трех видов южной сосны и *Phalenopsis*, повышения скорости образования протокормоподобных тел (ППТ) у гибридов *Cymbidium* и *Oncidium*, пролиферации каллуса у *Cymbidium orchid*, стимуляции ризогенеза *in vitro* у *Gossypium hirsutum* и *Tripteris japonicum* и др. [21–27]. С другой стороны, освещение К LEDs препятствовало росту корней у культивируемых *in vitro* растений *Doritaenopsis* [28]. При этом монохроматический К свет вызывал удлинение стебля и междоузлий *in vitro* у *Chrysanthemum*, *Rehmannia glutinosa*, *Gerbera jamesonii* и многих других видов [29–31]. Удлинение побегов у *Solanum tuberosum* cv. Miranda при К LED-освещении сопровождалось уменьшением их диаметра и размера листьев, а удлинение черешков листьев у *Fragaria* × *ananassa* – содержания в них хлорофилла [32, 33]. Снижение количества хлорофилла в листьях в результате освещения монохроматическим К показано многими авторами. При этом К свет, излучаемый LEDs, способствовал увеличению содержания растворимых сахаров и крахмала у *Gossypium hirsutum*, *Brassica napus* и *Platycodon grandiflorum* [26, 34, 35]. Во многих работах установлена более эффективная по сравнению с другими вариантами освещения стимуляция К светом роста листьев в растениях, культивируемых *in vitro*, как у *Azorella vidalii*, *Populus* × *canadensis* и *Protea cynaroides* [36–38]. Увеличение массы под влиянием К света наблюдалось у *Euphorbia millii*, *Spathiphyllum cannifolium*, *Myrtus communis*, *Vaccinium ashei reade* и *Plectranthus amboinicus* и др. [16, 18, 39, 40]. Предполагается, что узкий К диапазон может привести как к снижению фотосинтеза в результате дисбаланса в распределении световой энергии между фотосистемами I и II и в результате в функционировании электрон-транспортной цепи, так и к более эффективному использованию хлорофилла при его низком содержании. Низкая скорость фотосинтеза при К LED-освещении может быть также связана со сниженной устьичной проводимостью и недостаточно интенсивным транспортом фотосинтетических продуктов, вследствие чего увеличивается накопление крахмала и других углеводов.

Наблюдаемый у многих культур в результате облучения монохроматическим К светом «red light syndrome», характеризующийся чрезмерной хрупкостью побега вследствие удлинения междоузлий и снижением фотосинтетической активности, можно скорректировать добавлением С света в спектр LED-освещения [14, 32, 33, 41, 42].

С LEDs. С появлением на рынке доступных эффективных С LEDs и возможности их применения для культивирования растений, стало очевидно, что излучаемый ими свет, не менее важен для роста и развития *in vitro*. Появилось достаточно много работ, показывающих эффективность использования монохроматического С, а также освещения, получаемого комбинированием К+С LED-источников излучения. К наиболее часто наблюдаемым эффектам С света можно отнести ингибирование удлинения побега и корня, стимуляцию роста листьев, развития хлоропластов, накопления фотосинтетических пигментов, белка, углеводов и сухого вещества у растений, культивируемых *in vitro*. Так, показано ингибирование С светом, особенно в сравнении с К, роста стебля у *Oncidium*, *Chrysanthemum*, *Zantedeschia jucunda* и многих других видов [24, 29, 42]. Освещение С светом приводило, наряду с формированием коротких побегов, к развитию листьев и образованию микроклубней у *Solanum tuberosum* cv. Miranda [32]. При культивировании *in vitro* *Chrysanthemum* монохроматическое С освещение подавляло рост побегов и увеличивало содержание сухого вещества и фотосинтетических пигментов [43]. Хотя также достаточно результатов, указывающих на видоспецифические эффекты С света на пролиферацию и рост побегов *in vitro*. Например, в нескольких работах сообщается о стимулирующем влиянии С света на длину побегов. Так, при монохроматическом С свете увеличивалась длина побега *Tagetes patula* и *Achillea millefolium*, междоузлий у *Prunus domestica* и *Malus domestica* [44–47]. Отмечена важная роль монохроматического С LED-освещения в образовании хлорофилла и развитии хлоропластов в культурах *Euphorbia millii*, *Stevia rebaudiana*, *Anthurium andreaeanum*, *Tripterospermum japonicum*, *Doritaenopsis*, *Azorina vidalii*, *Zantedeschia jucunda*, *Chrysanthemum*, *Dendrobium officinale*, *Prunus avium*, *Vaccinium corymbosum*, по сравнению с вариантами, культивируемыми при монохроматическом К освещении или под ФЛ [16, 17, 20, 27, 28, 36, 42, 43, 48–50]. Напротив, снижение уровня хлорофилла в растениях, выращенных под С светодиодами, наблюдалось у *Vanilla planifolia* [19]. Также многие авторы обнаруживали, что С LEDs наряду со стимуляцией образования хлорофилла повышали интенсив-

ность ростовых процессов в культурах *in vitro*, например, *Euphorbia millii*, *Gossypium hirsutum* и *Zantedeschia jucunda* [16, 26, 42]. С свет индуцировал образование и рост листовой пластинки у *Euphorbia millii*, *Gossypium hirsutum*, *Rehmannia glutinosa*, *Brassica napus*, *Platycodon grandiflorus* и *Achillea millefolium* [16, 26, 30, 34, 35, 45]. Напротив, у *Azorina vidalii* и *Pyrus communis* при монохроматическом С освещении по сравнению с К наблюдалась меньшая площадь листьев, а у *Vanilla planifolia*, *Gossypium hirsutum*, *Plectranthus amboinicus* и *Lippia gracilis* – снижение сухого вещества [36, 51, 19, 26, 40, 52]. Также установлено, что С свет является оптимальным для стимулирования образования ППТ *in vitro* у *Dendrobium officinale*, роста корней у *Doritaenopsis*, дифференциации ППТ у *Oncidium* [24, 28, 46]. У *Oncidium* под С LEDs было самым высоким количество растворимого белка в ППТ и листьях [24]. У *Scrophularia kakudensis* освещение С светом приводило к активации белков, связанных с устойчивостью к стрессу, фотосинтезом, посттрансляционной модификацией и вторичным метаболизмом [53].

Комбинирование К и С LEDs. Ряд авторов сходится во мнении о целесообразности использования комбинации К+С света, поскольку эти спектральные диапазоны особенно эффективно поглощаются фотоморфогенетическими рецепторами и фотосинтетическими пигментами и такой подход может существенно увеличить квантовый выход фотосинтеза. Часто сочетание К и С диапазонов оказывалось более эффективным для пролиферации, нормального роста стебля и листьев культур *in vitro* в сравнении с темнотой, ФЛ и монохроматическими LED-источниками света. Различные комбинации К+С эффективно регулировали накопление массы у *Stevia rebaudiana*, *Tripterospermum japonicum*, *Fragaria x ananassa*, *Populus euramericana* cv ‘Dorskamp’, *Dendrobium officinale*, *Vaccinium corymbosum*, *Pyrus communis*, *Corymbia citriodora* и *Phoenix dactylifera*, [17, 27, 33, 37, 48, 50, 51, 54, 55]. В ряде работ показана эффективность равного соотношения К и С света (К/С 1/1) в экспериментальных LED-системах: для пролиферации и роста культур *Vanilla planifolia*, *Doritaenopsis*, *Chrysanthemum*, *Gossypium hirsutum*, *Pyrus communis*, *Lilium oriental* и *Solanum tuberosum* [19, 28, 29, 26, 51, 56, 57]. Стимуляция процессов роста и развития при смешанном LED-освещении с К/С 1/1 наблюдались у побегов *Oryza sativa* в результате повышения содержания фотосинтетических пигментов и скорости фотосинтеза, у *Dendranthema grandiflorum* – увеличения скорости фотосинтеза, у *Gerbera jamesonii* – увеличения количества

листьев, у пшеницы вследствие стимуляции фотосинтеза и устьичной проводимости [29, 31, 58]. У *Dendrobium officinale* содержание хлорофилла а, b и каротиноидов в ППТ было самым высоким при LED-освещении с К/С 2/1 [48]. В некоторых случаях эффективными оказывались комбинации с более высоким уровнем К света в композиции – как соотношение К/С 9/1 или 7/3 для *Fragaria x ananassa* и *Saccharum officinarum* [33, 59]. Формирование побегов и ризогенез у *Anthurium in vitro* стимулировало повышение уровня К света, а количество побегов – С света в комбинации К+С [60]. Более высокая скорость пролиферации побегов у *Gerbera jamesonii* наблюдалась при соотношении К/С 1/1 и 7/3 по сравнению с растениями, выращенными под ФЛ [31]. Использование LED-освещения с К/С 9/1 позволило получить самую высокую пролиферацию побегов у *Phalaenopsis* [92]. В 2 раза более эффективное чем при ФЛ формирование растений из эмбрионных каллусов *Panax vietnamensis* было достигнуто при К/С 6/4 [62]. У *Phoenix dactylifera* пролиферация была выше при К/С 18/2, у *Populus euramericana* – при К/С 7/3 и 1/1 по сравнению с монохромным освещением и ФЛ [56, 92].

ДК LEDs. Хотя роль ДК света (соотношения К/ДК) в процессах роста и развития растений достаточно велика, его влияние на рост культур *in vitro* изучено гораздо меньше, чем К и С диапазонов. Известно, например, о стимуляции ДК светом прорастания пазушных почек у *Azorella vidalii* и *Vaccinium corymbosum*, пролиферации побегов у *Spirea nipponica*, повышении коэффициентов размножения у *Chrysanthemum morifolium*, *Heuchera hybrida*, *Gerbera jamesonii* и *Lamprocapnos spectabilis* [36, 63–65]. У *Pyrus communis* ДК свет повышал количество побегов, но снижал их качество, уменьшая массу, повышая оводненность и вызывая хлороз [51]. Добавление ДК к К и С LEDs стимулировало формирование ППТ, рост листьев и корней, содержание хлорофилла, а также сырую и сухую массу у *Oncidium* [66]. В то же время эффекты ДК обычно зависели от его интенсивности и соотношения К/ДК. Например, повышение ДК до $9 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ из общего уровня ППФ $43 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ снижало интенсивность образования, длину и массу побегов у *Chrysanthemum morifolium* [43]. Негативным было также влияние ДК света на биомассу *Ficus benjamina in vitro* в результате снижения общего количества побегов, а также массы каллуса [67]. Сниженное соотношение К/ДК (1/1,1) оказывало ингибирующее воздействие и на рост гибридов *Calanthe* [68].

З и Ж LEDs. Еще меньше внимания при выборе спектра освещения уделяется зеленому (З)

и желтому (Ж) диапазону, хотя все больше данных появляется о регулировании З и Ж светом различных морфологических процессов не только *in vivo*, но и *in vitro*. Например, З свет стимулировал ветвление побегов *Prunus domestica*, образование междоузлий и удлинение побегов у *Prunus persica* [69]. Добавление З к комбинации К и С способствовало активации роста листьев и удлинения стебля, росту и развитию побегов *Solanum tuberosum* [70]. Ж свет стимулировал пролиферацию у *Populus alba* × *P. berolinensis*, рост каллуса у *Vitis vinifera*, увеличение площади и массы листьев, уменьшение длины побегов у *Dendrobium sonia* [71–73]. Некоторые авторы полагают, что снижение апикального доминирования, по-видимому, является основным эффектом З и Ж света [46].

Б LEDs. В последнее время появляется все больше доказательств, что растению для нормальной жизнедеятельности необходимо излучение во всей видимой области спектра. Применение Б широкополосного освещения для некоторых видов растений и биотехнологических задач часто оказывалось более эффективным, чем монохроматического К, С или их комбинации. Б LED-освещение стимулировало пролиферацию побегов у *Musa* spp., а также у *Bacopa monnieri* и *Malus domestica* [74, 75]. Воздействие Б света активировало регенерацию хорошо сформированных побегов в течение 3–4 недель у трансгенной *Petunia atkinsiana* [76]. У *Anthurium andreanum* уровни пролиферации при ФЛ и Б LED-освещении были сходными [20]. Наилучшее размножение *Vanilla planifolia* было показано при Б и К+С, а свежая и сухая масса побегов, высота растения, количество листьев, количество и длина корней – при ФЛ и Б LEDs [19]. ФЛ и Б свет увеличивали коэффициент размножения *Gerbera jamesonii* ‘Rosalin’ [77]. Б LED-освещение (20% С, 39% З, 35% К, 5% ДК) было столь же эффективным, как ФЛ для размножения побегов *Gerbera jamesonii*, *Heuchera* × *hybrida* и *Lamprocapnos spectabilis*. Усиленный биосинтез хлорофилла также отмечен у *Vanilla planifolia*, хлорофилла и каротиноидов у *Saccharum officinarum* при освещении Б LEDs [27, 59]. С другой стороны, часто эффекты ФЛ были лучше по сравнению со всеми протестированными вариантами LED-освещения, например, коэффициент размножения у *Ficus benjamina*, *Saccharum officinarum* и *Spathiphyllum cannifolium* [16, 59].

Таким образом, очевидно, что определенные спектральные композиции LED-освещения способны не только обеспечить стабильную экономию энергии по сравнению с традиционно используемыми ФЛ, но и повысить эффективность

процесса микроразмножения. Различия эффектов действия света на культуры *in vitro* могут быть связаны как с видом растения и типом экспланта, так и с содержанием фитогормонов и других компонентов в питательной среде, условиями культивирования, а также с другими параметрами светового потока кроме соотношения различных диапазонов длин волн. Поэтому для выявления оптимальных комбинаций спектральных диапазонов в LED-освещении и требуются дальнейшие исследования.

Адаптация растений-регенерантов в условиях ex vitro

Одной из проблем клонального микроразмножения являются сложности адаптации регенерантов к условиям *ex vitro*, в которых часто наблюдается остановка роста, опадение листьев и гибель растений, во многом обусловленные их, так называемым, «культуральным» фенотипом [78]. Стерильность, высокая влажность, низкий уровень освещения, миксотрофный способ питания, наличие в питательных средах углеводов и фитогормонов в условиях *in vitro* приводят к низкому фотосинтетическому и адаптивному потенциалу размножаемых растений. Недостаток кутикулярного воска и слабо развитая хлоренхима в листьях, часто отсутствующие корневые волоски и низкий уровень активности устьичного аппарата обуславливают слабую водопоглощающую способность и большие потери воды у растений-регенерантов условиях *ex vitro*. Таким образом, специфические физиологические характеристики, морфология и метаболизм микроклонов соответствуют условиям культивирования *in vitro*, но создают проблемы впоследствии при адаптации *ex vitro*. Для успешной адаптации необходимо обеспечить формирование фенотипа с более высокой устойчивостью, например используя на этапе *ex vitro* света с заданными свойствами для ускорения формирования более развитых корневой системы и фотосинтетического аппарата, поскольку в новых условиях организации корнеобитаемой среды и освещения растения-регенеранты вынуждены переходить на фототрофный способ питания. В работе Т. Н. Куделиной с соавторами установлены особенности влияния полихроматического LED-освещения различного спектрального состава с варьируемыми соотношениями физиологически значимых спектральных диапазонов (К/С 1, 2,5 и 4) на формирование метамеров, биометрические показатели и пигментный состав листовой пластинки микроклонально размноженных растений *Populus tremula* и *Betula pendula* в течение адаптации к условиям *ex vitro* [79]. Показано, что для роста регенерантов *Populus tremula* все протестирован-

ные варианты LED-освещения были более эффективны, чем ФЛ. Площадь листовой пластинки быстрее всего увеличивалась при К/С 4, а содержание хлорофиллов и каротиноидов возрастало при К/С 1. Рост регенерантов *Betula pendula* стимулировал свет с К/С 3, площадь листьев – все LED-варианты, а образование хлорофилла – ФЛ. У растений-регенерантов обоих видов наблюдали снижение содержания фотосинтетических пигментов в условиях LED-освещения с высоким К/С. Таким образом, оптимизация состава полихроматического освещения может способствовать формированию определенного фенотипа растений *ex vitro*, хотя, как и в условиях *in vitro*, наблюдается видоспецифичность восприятия световых стимулов.

Биосинтез биологически активных веществ в культурах in vitro

Одна из задач культивирования клеток и тканей растений *in vitro* – получение специализированных соединений, биологически активных веществ (БАВ). Клеточные культуры – важнейший альтернативный источник фармакологически ценных первичных и вторичных метаболитов (антоцианов, каротиноидов, флавоноидов, фенольных кислот, токоферолов, гликозидов, терпенов, алкалоидов и др.) лекарственных и пряно-ароматических растений с ограниченным ареалом, а также редких и исчезающих видов [80]. Специализированные метаболиты растений ценны благодаря своим антиоксидантным, противовоспалительным, гипотензивным, антибактериальным, противоопухолевым и др. свойствам. Однако применение технологии *in vitro* часто не позволяет получить достаточный уровень биосинтеза БАВ, необходимый для экономически целесообразного коммерческого использования. Дедифференцированные клетки накапливают, как правило, незначительное, по сравнению с интактным растением, количество вторичных метаболитов. Поэтому на первом плане – разработка технологий культивирования клеток и тканей растений, обеспечивающих их максимальную биосинтетическую активность и продуктивность. Наряду с выбором высокопродуктивных сортов, использованием прекурсоров, методов трансформации и иммобилизации, одним из наиболее очевидных современных подходов для решения этой проблемы представляется использование LED-освещения [12]. Качество света является ключевым регуляторным фактором в биосинтезе и накоплении вторичных метаболитов растений. LED-освещение, обеспечивая контроль спектрального состава, позволяет регулировать метаболические реакции. Поэтому изучение закономерностей ростовых процессов и био-

синтеза фармакологически ценных вторичных метаболитов в культурах клеток и тканей с помощью различных режимов LED-излучения является сегодня одним из перспективных направлений исследований.

Показано, что К и С диапазоны освещения могут модулировать экспрессию генов в фенилпропаноидных путях, усиливать активность ферментов (например, фенилаланинаммиаклиазы) и изменять профиль накопления антиоксидантов, включая сумму фенольных соединений и флавоноидов [12]. Часто использование именно С света напрямую коррелирует с повышением содержания БАВ или с регуляцией экспрессии соответствующих генов [12]. В работе [81] показано, что определенные спектры LED-освещения избирательно стимулируют накопление отдельных фенольных соединений в культуре *in vitro* *Eucomis autumnalis*. Например, К свет значительно увеличивал содержание катехина и генистеиновой кислоты, в то время как, С свет был наиболее эффективен для накопления гисперидина. У *Myrtus communis* К LEDs повышали уровень мирисетина, в то время как С и К+С освещение увеличивало сырую массу и количество других компонентов пула фенольных соединений [18]. С и К+С LEDs были максимально эффективны для накопления полифенолов и повышения антиоксидантного потенциала у *Dracocephalum forrestii* [82]. Б LEDs повышали содержание фенольных соединений и уровня экспрессии генов, участвующих в биосинтезе фенилпропаноидов у *Agastache rugosa* по сравнению с К или С монохроматическим светом. А, например, у *Lilium candidum* накопление всех идентифицированных фенольных кислот уменьшалось под ФЛ и К светом, в то время как К+С LEDs повышали общее содержание фенольных соединений [83]. Чжан с соавторами разработали эффективную процедуру регенерации *in vitro* *Fritillaria cirrhosa* из эмбрионного каллуса в условиях К света [84]. При этом наивысший показатель суммы фенольных соединений отмечен при К свете, максимальное содержание импералина – при С свете, а сумма флавоноидов, полисахаридов и антиоксидантная активность увеличиваются при Б свете.

Очень мало работ посвящено исследованиям влияния LED-освещения на биосинтез и накопление других вторичных метаболитов, например, алкалоидов. В работе О. В. Молчан с соавторами показаны изменения ростовых параметров, содержания хлорофилла, каталазной и пероксидазной активности, а также активности триптофан декарбоксилазы, ключевого фермента биосинтеза фармакологически ценных индольных алкалоидов и эндогенного уровня протоалкалоида

триптамина и фармакологически ценного винкамина в каллусе *Vinca minor* под действием света различного спектрального состава [85]. Наиболее интенсивными процессами накопления сырой биомассы отличались каллусы при освещении с преобладанием К света в спектре. Биосинтез хлорофилла в большей степени зависел от уровня ППФ, чем от спектрального состава используемых источников света. Установлена максимальная стимуляция LED-освещением с преобладанием З света в спектре накопления сухого вещества, активности триптофан декарбоксилазы и винкамина, основного фармакологически значимого алкалоида *Vinca minor*. Таким образом, можно заключить, что З свет представляется важным экзогенным фактором, регулирующим биосинтез терпеноидных индольных алкалоидов и ключевым компонентом спектрального состава источников света, используемых для организации LED-освещения при культивировании *Vinca minor in vitro*. Все вышеперечисленные видоспецифические реакции культур на качество света дополнительно подтверждают необходимость оптимизации условий освещения в системах *in vitro*.

Экспрессия рекомбинантных белков

Большой интерес сегодня представляют передовые инструменты и молекулярные подходы в биотехнологии растений: нанобиотехнология, редактирование генома, генетическая трансформация растений и др. [13]. Особое внимание уделяется исследованиям в области экспрессии генов гетерогенных чужеродных белков, например, антител и антигенов млекопитающих [86, 87]. Двумя основными биотехнологическими методами продукции чужеродных белков в растениях являются стабильная трансформация и временная экспрессия генов, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [86–88]. Первый метод обеспечивает стабильную продукцию рекомбинантного белка, а второй – ускорение получения целевого продукта. В последние годы показана возможность крупномасштабного производства рекомбинантных белков из растительного сырья [88]. В связи с этим критически важным сегодня стало определение оптимальных для продукции рекомбинантных белков условий культивирования растений, необходимых для получения стабильных и воспроизводимых результатов. Основное внимание уделяется системам выращивания растений в контролируемой среде с искусственным освещением, развитие которых важно для обеспечения мер по предотвращению распространения в окружающей среде генетически модифицированных организмов, для минимизации загрязнения патогенами и насекомыми из внешней среды при одновременном сокращении использо-

вания пестицидов, и, особенно, для стабилизации и повышения продуктивности технологии.

Сложные взаимосвязи роста и развития растений, изменений фотосинтетической активности, углеродного и вторичного метаболизма влияют на продуктивность целевого белка как в системах стабильной трансформации, так и при временной экспрессии генов. В ряде работ уже показаны эффекты различных режимов освещения, в т.ч. спектрального состава, на накопление биомассы листьев и экспрессию целевого белка. Например, при К+ДК растения характеризовались примерно в 0,6 раза меньшей биомассой, но в 1,5 раза более высоким уровнем экспрессии GFP чем при Б LED-освещении [89]. Таким образом, в целом, использование К+ДК освещения получалось более эффективным. Обсуждается возможность того, что снижение интенсивности фотосинтеза при К+ДК позволило направить больше ресурсов на биосинтез чужеродного белка, а уменьшение накопления флавоноидов дополнительно ослабило иммунную систему растений, что привело к увеличению активности агробактерий, используемых для трансформации. Для повышения конечной продуктивности целевого белка имеют решающее значение строго регулируемые условия роста и фотосинтетической активности растений не только после, но и до переноса генов. С одной стороны, стимуляция фотосинтеза способствует увеличению биомассы и уровня метаболитов для накопления рекомбинантного белка [90]. С другой – активному фотосинтезу требуется больше ресурсов для биосинтеза компонентов фотосинтетического аппарата и ферментов метаболизма углерода, а также усиливается защитная реакция растений на инфицирование агробактериями [86, 89]. Очевидно, что вся метаболическая активность листа и растения в целом, имеет значение для биосинтеза и деградации чужеродных белков. Эффективность накопления целевого белка определяется его содержанием в биомассе, общей биомассой растения, плотностью размещения растений на определенной площади и временем культивирования. Таким образом, для уточнения способов управления фотосинтезом до и после агроинфильтрации для обеспечения оптимальных условий выращивания растений и максимизации целевой продуктивности рекомбинантного белка необходимы более подробные физиологические исследования. LED освещение является для этого самым эффективным и перспективным инструментом.

Механизмы действия LED-освещения на рост и развитие растений в культуре in vitro

Механизмы действия LED-освещения, в основном монохроматического К, ДК и С света, на

растения в культуре *in vitro* исследованы в ряде работ. Так, обнаружено, что ингибирующее влияние ДК света на пролиферацию обратимо, тогда как воздействие С – навсегда снижает способность эксплантов черешков *Begonia erythrophylla* образовывать новые побеги [91]. Поэтому авторы работы предположили, что образование побегов эффективно регулируют фитохром и криптохром. Фоторецепторы растений и факторы транскрипции, например, HY5, вообще, по-видимому, играют ключевую роль в процессах фотоморфогенного развития.

Также хорошо известно, что спектр освещения определяет состав веществ, образующихся при фотосинтезе. Например, К свет индуцирует синтез растворимых углеводов, а со временем – крахмала, а на С свету активно синтезируются органические кислоты и аминокислоты, а позднее – белки. Кроме того, свет является одним из основных факторов, контролирующих биосинтез и накопление вторичных метаболитов – регуляторов роста, определяя каскад процессов сигнальной трансдукции, активируемый фоторецепторами, и, следовательно, модулируя биосинтетических путей и экспрессии генов.

В некоторых исследованиях доказана связь освещения и фитогормональных систем в регуляции пролиферации *in vitro*. Пролиферация *in vitro*, как процесс активного деления, размножения и накопления биомассы растительных клеток, тканей, органов или микропобегов, зависит от уровня фитогормонов. Ауксины и цитокинины, их соотношение, являются наиболее важными регуляторами роста, процессов апикального доминирования и активного размножения клеток у растений, определяющими успешность протоколов и приемов *in vitro*. В частности, апикальное доминирование и его ингибирование определяются уровнем ауксинов в апексе побега и, таким образом, соотношением ауксинов и цитокининов. Увеличение количества цитокининов в тканях в противодействие ауксинам приводит к стимуляции роста пазушных почек. Потенциал цитокининов в контроле роста и развития связан также с реакцией растений на абиотические стрессы [92]. Свет – важнейший сигнал, регулирующий содержание и соотношение фитогормонов. Влияние света на активацию фитогормональных систем *in vitro* показано в ряде работ. Например, действие Б света приводило к активации генов, участвующих в синтезе и транспорте цитокининов, накоплению цитокининов и запуску роста почек у *Rosa hybrida* [93]. В активно растущих культурах *Chlorella minutissima* в результате освещения наблюдалось повышение концентрации эндогенных ауксина и особенно

цитокинина [94]. Показано, что К свет стимулирует пролиферацию побегов в результате перевода фитохрома в активную форму, увеличения уровня цитокинина в ткани и изменения баланса эндогенных фитогормонов, как например у *Begonia erythrophylla* [91]. Кроме того, К свет может через фитохром модулировать и другие гормональные системы, например, гиббереллины [95]. С свет, по-видимому, больше влияет на образование эндогенного ауксина. Так, показано, что С повышает содержание ИУК, стимулируя рост листьев *Platycodon grandiflorum* [35]. У *Vitis vinifera* развитие пазушных побегов могло быть обусловлено снятием апикального доминирования при С LED-освещении [96]. Однако у табака, стимуляция пролиферации побегов С светом сопровождалась фотоинактивацией системы ауксинов, возможно из-за его высокой интенсивности [97]. В работе Т. Н. Куделиной с соавторами показано, что при полихроматическом освещении с К/С 4 увеличивалась масса растений, содержание фотосинтетических пигментов, поверхностная плотность листьев, длина главного корня, количество и длина боковых корней у *Arabidopsis thaliana* дикого типа, выращенных в асептических условиях на агаризованной среде [98]. Дальнейшее увеличение К/С до 6 не сопровождалось большей активацией физиолого-биохимических процессов. С использованием мутантов *wei8-1tar1-1* и *ahk2* показано ключевое значение рецептора цитокинина гистидинкиназы АНК2 и ферментов, участвующих в биосинтезе ауксина, ТАА и TARs в стимуляции роста вегетативных органов и формирования фотосинтетического аппарата *A. thaliana* в ответ на повышение уровня К света и соотношения К/С в сложных полихроматических LED-композициях.

Культивирование клеток, тканей и органов растений *in vitro* происходит в искусственных стерильных условиях на специальных питательных средах, содержащих экзогенные регуляторы роста. Оказалось, что качество света может влиять на морфогенез растений *in vitro* во взаимосвязи с уровнем экзогенных фитогормонов в среде культивирования. Зачастую влияние LED-освещения с различным спектральным качеством на пролиферацию в значительной степени зависело от гормонального состава питательной среды, в основном, от уровня цитокинина. Например, увеличение скорости пролиферации побегов у *Myrtus communis* и *Spirea nipponica* происходило в результате действия К или К+ДК света и в присутствии в среде высокого уровня цитокинина [18, 64]. В то же время, добавление цитокинина в среду культивирования нивелировало стимулирующий эффект К света на проли-

ферацию пазушных почек азалии и регенерацию придаточных почек из сегментов листьев *Petunia* spp. Развитие микроклубней *Solanum tuberosum* cv. Miranda при С свете не наблюдалось при добавлении ИУК в среду культивирования [32]. Экзогенный цитокинин эффективно стимулировал пролиферацию пазушных почек *Lavandula officinalis* × *L. latifolia* cv. Grosso и снижал ингибирующее действие С и УФ света высокой интенсивности, в то время как без цитокинина количество побегов увеличивалось при освещении Б, С или К светом низкой интенсивности [99]. У *Prunus domestica* subsp. *insititia* эффект света зависел от концентрации применяемого цитокинина [100]. При оптимальной его концентрации (2,7 мМ) Б свет обеспечивал лучшие показатели пролиферации, чем К, С и ДК освещение. Если же концентрация цитокинина была ниже оптимального уровня, образование пазушных побегов стимулировал К свет. Самая высокая концентрация (13,3 мМ) снижала пролиферацию при С, К и ДК монохроматическом освещении, но не при Б свете. Судя по всему, эффекты К света часто проявляются при низких концентрациях цитокинина в среде, тогда как С света – также и при высоких дозах этого фитогормона. Слишком большое количество цитокинина в питательной среде маскирует эффекты К света и может привести к изменению ростовых процессов. Таким образом, воздействие света может позволить снизить концентрацию экзогенных регуляторов роста, главным образом, цитокининов. Хотя, очевидно, что результаты будут зависеть от фитогормонального статуса объекта исследования, типа экспланта, стадии развития, особенностей миксотрофного метаболизма у растений различных видов и сортов, состава среды и других условий культивирования. Важно также учитывать различия в интенсивности, дозе и фотопериоде применяемого освещения.

Особенности регуляции светом вторичного метаболизма в культуре in vitro

Наблюдаемые эффекты LED-освещения на биосинтез и накопление вторичных метаболитов опосредуются ключевыми фоторецепторами, фитохромами, криптохромами и фототропинами, запускающими быстрые изменения биохимических процессов в клетке и экспрессию генов, связанных с ростом, гормональным балансом, первичным и вторичным метаболизмом. Фоторецепторы инициируют каскады сигнальной трансдукции, которые модулируют активность ферментов и метаболические потоки прекурсоров в биосинтетических путях. Транскриптомные и протеомные исследования показывают, что К и С свет модулирует экспрессию ге-

нов, участвующих в фотосинтезе, гормональной сигнализации и стрессовых реакциях, что приводит к изменениям морфогенеза и накоплению метаболитов [101, 102]. К и ДК свет, К/ДК также могут влиять на вторичный метаболизм, активируя или ингибируя определенные метаболические пути в зависимости от вида растения, стадии развития и условий культивирования. В то же время, как показывают многочисленные литературные данные, коротковолновой С свет особенно эффективен для стимуляции синтеза вторичных метаболитов, вероятно, в результате повышения активности ключевых биосинтетических ферментов в ответ на его высокую интенсивность [12]. Известно также, что С свет повышает уровень экспрессии генов, ответственных за биосинтез пигментов и активность антиоксидантных ферментов [18, 53, 101]. УФ-излучение во многих случаях оказывалось эффективным для повышения содержания вторичных метаболитов, синтеза антиоксидантных соединений [12]. Специализированный метаболизм растений часто активируется стрессовыми факторами. Высокоинтенсивный свет, зачастую включающий УФ-излучение, действует как абиотический стрессор, запускает выработку молекул-антиоксидантов (каротиноидов, фенольных кислот, флавоноидов, и др. метаболитов), поглощающих активные формы кислорода. Этот регуляторный механизм связан со стратегиями защиты растений от фотоповреждения. С другой стороны, стрессовые условия часто приводят к снижению активности фотосинтеза и, соответственно, к уменьшению не только биомассы, но и уровня первичных предшественников – ресурсов для биосинтеза и накопления специализированных метаболитов. При оценке взаимосвязи между качеством света и биосинтезом целевых метаболитов обычно выявляется большая вариабельность оптимальных спектральных комбинаций для синтеза определенных соединений, т.е.

Перспективы использования LED-освещения

Освещение в высокопродуктивных системах культивирования *in vitro* должно обеспечивать спектральный диапазон, интенсивность, дозу и фотопериод, оптимальные для фотоморфогенетических и фотосинтетических процессов культур клеток, тканей и органов. Использование LED источников света, позволяющих гибко регулировать спектральный состав и интенсивность в соответствии с потребностями растения, как правило, лучше всего отвечает этим требованиям. Очевидно, что LED-освещение, как энергоэффективное и экологически безопасное, вскоре не просто заменит традиционные ФЛ, а позволит управлять количеством и качеством биотехнологической продукции, т.е. выйти на новый уро-

специфическая реакция культур и путей биосинтеза БАВ на световое воздействие. Например, антоцианы могут накапливаться в большей степени под З или С, а флавоноиды – под К и С светом, поглощая эти длины волн для защиты от АФК [12]. Более сложные композиции LED-освещения, такие как К+С, К+ДК, К+С+ДК, К+С+З или Б, могут одновременно активировать несколько фоторецепторных путей, оказывая синергетический эффект и определяя как параметры роста (массу, количество и параметры клеток, побегов, корней и листьев), так и накопление метаболитов, тогда как монохроматического К или С света может быть недостаточно для реализации этих процессов. Комбинированные спектры также могут вызывать умеренный окислительный стресс, запуская передачу сигналов с участием активных форм кислорода, что дополнительно способствует биосинтезу вторичных метаболитов с антиоксидантной активностью [103].

Таким образом, использование LED-освещения является инновационным подходом, который имеет большие перспективы для создания и оптимизации систем интенсивного культивирования и целенаправленного управления физиологическими процессами растений и продукцией ценных метаболитов *in vivo* и *in vitro*. Однако для уточнения способов контроля биосинтетическими процессами в клеточных культурах растений необходимы еще более подробные физиологические и биохимические исследования. Следует учитывать, что эффективность продукции БАВ в клеточной культуре определяется не только активностью биосинтеза и накопления целевых метаболитов, но и скоростью и уровнем накопления биомассы. Важно заметить также, что особенности регуляции метаболических путей и продуктивности большинства лекарственных растений в культуре *in vitro* с помощью LED освещения изучены еще крайне слабо.

вень регуляции ростовых и метаболических процессов. Свет с определенной длиной волны или сочетанием спектральных диапазонов может в различной степени активировать фоторецепторы и, запуская опосредованные ими сигнальные каскады, влиять на морфогенез растений и оптимизировать биотехнологический процесс, повышая его эффективность, снижая период и стоимость культивирования. Используя оптимальный спектр и режим освещения, модулируя в нужном направлении работу систем фотосинтеза и фотоморфогенеза можно регулировать поглощение воды, питательных веществ и экзогенных регуляторов роста из питательных сред, контролировать накопление биомассы, процессы пролиферации,

ризогенеза и геммогенеза, формирование морфоструктур, управлять биохимическими процессами, биосинтезом и накоплением сахаров, витаминов, вторичных метаболитов и рекомбинантных белков.

Многочисленные исследования уже были проведены с целью изучения возможности использования LED-освещения для решения биотехнологических задач, получен целый ряд удовлетворительных результатов. Однако многие из механизмов, лежащих в основе влияния световых условий выращивания растений на морфогенез и биосинтез *in vitro*, еще предстоит выяснить. Сложность растительной фоторецепции является основной причиной существующих сегодня трудностей и противоречий в оптимизации режимов LED-освещения для культивирования растений. При этом к настоящему времени большая часть работ посвящена изучению влияния монохроматического фотосинтетически значимого света в К или С областях спектра либо их композициям. Очевидно, что такого освещения явно недостаточно для эффективного культивирования, поскольку все диапазоны ФАР важны для функционирования растительного организма. Кроме того, уже понятно, что эффект света с определенным спектральным качеством, зависит от вида (сорта) растения, типа экспланта, стадии культивирования и условий окружающей среды, таких как состав питательных сред, особенно фитогормональный, уровни ППФ освещения и др. Тем не менее, определенные закономерности уже прослеживаются. Так, многие исследования показали, что оптимизация соотношения К/С LED-освещения может улучшить пролиферацию, ростовые и фотосинтетические процессы, повысить качество и адаптивный потенциал растений при культивировании *in vitro*. Совместное действие К+С света может с использованием преимуществ монохромных К и С диапазонов способствовать преодолению их негативных эффектов в результате синергетического взаимодействия фитохромов и криптохромов. В частности, применение композиции К+С позволяет преодолеть вызываемый К светом, так называемый, «red light syndrome», при котором растения характеризуются чрезмерным удлинением и хрупкостью побегов, нарушением фотосинтетической активности, роста и развития. Добавление С света к К может также улучшить адаптивный потенциал микроразмноженных растений. В свою очередь, С свет в основном способствует повышению эффективности работы фотосинтетического аппарата, а наблюдаемое в ряде случаев ингибирование ростовых процессов, может быть предотвращено добавлением К в спектр.

Влияние З, Ж, ДК (соотношения К/ДК) и УФ света на рост культур, изучены гораздо меньше, чем К, С и их комбинаций. А между тем, ДК свет регулирует активность фитохромной, а З – криптохромной систем и вследствие этого могут изменять эндогенный гормональный баланс и множество пролиферативных, ростовых и биосинтетических процессов растения. Необходимы дальнейшие исследования для понимания роли излучения в диапазоне 500–600 нм и 730–750 нм и возможностей его использования в т. ч. в сочетании с другими длинами волн в условиях *in vitro*. Отсутствие УФ-диапазона в спектре также может стать серьезным препятствием для решения ряда биотехнологических задач. Механизмы действия на растения соотношения отдельных областей излучения в полихроматических спектрах тоже требуют изучения и представляют значительный фундаментальный и прикладной интерес. Важным аспектом представляется установление механизмов взаимодействия светового и фитогормонального сигналов. Многие еще предстоит сделать в направлении исследования фоторецепции растений и культур *in vitro*, поскольку в зависимости от биотехнологической задачи, типа экспланта, состава экзогенных регуляторов роста в питательной среде и других условий потребности культуры в количестве и качестве света различаются. А конкретные виды и даже сорта растений могут иметь специфические требования и отклик на определенный режим освещения. Тем не менее, регуляция сложных фоторецепторных и фотосинтетических систем представляет собой огромный потенциал для улучшения роста и развития, биосинтеза метаболитов и даже повышения стрессоустойчивости растений. На практике для ускорения оптимизации процесса освещения необходимо проведение метаанализа полученных к настоящему времени результатов и всесторонние сравнительные исследования регуляции светом культур различных видов и сортов, типов эксплантов в разных условиях культивирования.

Произошедший в последнее десятилетие прорыв в области светотехники и новые возможности использования LED-светильников позволяют корректировать спектральный состав и режим освещения под определенный вид, тип экспланта и биотехнологические задачи, существенно повысить эффективность культивирования, ускорить рост и направленно регулировать метаболизм, а также экономить энергоресурсы. С помощью современных систем освещения можно подбирать длины волн в соответствии с поглощением фоторецепторов растений для оптимизации культивирования и влияния на мор-

фологию и метаболический состав, несколько лет назад появилась возможность использовать полихроматические спектры. Современные LED-технологии позволяют создавать специальные уникальные спектральные композиции или имитировать естественный солнечный свет. Они легко интегрируются в комплексную программу культивирования, подходят для светильников с различным дизайном и технологическими характеристиками, что открывает широчайшие перспективы их использования. Разработка новых методических и конструктивных подходов, современное динамическое LED-освещение, позволяющее варьировать спектральный состав в течение суток и всего периода культивирования, учитывая целевые задачи биотехнологического процесса, обуславливают возможность создания «умного освещения». Интеллектуальная система

освещения, комплекс «умных» светильников, датчиков, контроллеров и программного обеспечения в единой сети автоматического управления, регулировки параметров и экономии энергии позволяет контролировать и настраивать определенные сценарии культивирования, адаптироваться к нуждам культуры, стадии роста и времени суток. Освещение растений может претерпеть революцию, что станет огромным шагом вперед после десятилетий исследований.

Лабораторией биофотоники и стрессоустойчивости растений Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси в течение нескольких лет проводится разработка регламентов LED-освещения для выращивания различных видов сельскохозяйственных, лекарственных и декоративных растений, учитывающих особенности и целевые задачи культивирования (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальная климатокамера с малогабаритными LED-фитоboxами

Fig. 2. Experimental climate chamber with compact LED phytoboxes

В интересах отечественных производителей светотехники в институте разработаны опытно-промышленные регламенты работы систем LED-досветки растений высокостебельных сортов томата, салата, рукколы и базилика в условиях теплицы. Функционирует культивационный мини-комплекс с автоматизацией контроля микроклимата, с возможностью регулировать температуру, влажность и ППФ, оснащенный системой LED-светильников, программным управлением спектром в диапазоне 300–800 нм в течение суток, предназначенный для отработки технологии

культивирования растений, позволяющий ускорить разработку систем LED-освещения для выращивания растений, выявления возможностей использования динамического LED-освещения (уникальных би- и полихроматических спектральных композиций и регуляции спектрального состава в течение суток и всего периода культивирования). С использованием миникомплекса изучено влияние полихроматического LED-освещения с различным К/С на рост и развитие *Arabidopsis thaliana* дикого типа и мутантов *wei8-1tar1-1* и *ahk2* при культивировании в асептических усло-

виях на гелевых средах, выявлены особенности формирования фотосинтетического аппарата микроклонов *Populus tremula* и *Betula pendula* при использовании разных спектральных композиций в процессе адаптации *ex vitro*, исследовано влия-

ние LED-освещения различного спектрального состава на рост и биосинтез алкалоидов в каллусных культурах *Vinca minor* и других растений.

Исследования в данном направлении продолжаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

LED-освещение сегодня является перспективным инструментом управления ростом и развитием растений и культур *in vitro*. LED-технологии позволяют не только заменить инновационными энергоэффективными источниками света традиционно используемые, но и в соответствии с биотехнологическими задачами и потребностями конкретных культур на новом уровне регулировать их продуктивность. Развитие новых концепций в области фотобиологии и морфогенеза, дополненное техническими инновациями, может сделать применение LED-освещения в биотехнологии растений более выгодным. Ожидается, что LED-системы облучения, с использованием передовых полупроводниковых материалов, более высокой интенсивностью и низкой ценой, станут в перспективе основными источниками света для широкого спектра систем культивирования

растений. Полученные в данном направлении результаты будут востребованы для настоящей и будущей разработки космических и наземных высокопродуктивных искусственных экосистем, создания микроклимата для выращивания растений в биотехнологических комплексах.

Разработка современного LED-освещения важна для эффективного решения текущих и будущих задач в области устойчивого социально-экономического развития, таких, как обеспечение продовольственной безопасности в условиях меняющегося климата и нарушенной экологии. Очевидно, что высокопродуктивные фототрофные экосистемы с контролируемой средой – это будущее. Многое еще предстоит сделать, чтобы этот сектор стал экономически жизнеспособным. Однако уже сегодня они могут быть дополнением к уже существующим системам выращивания растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yeh, H. High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation / H. Yeh, J. P. Chung // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13, no. 8. – P. 2175–2180. – doi: 10.1016/j.rser.2009.01.027.
2. Nakamura, S. The blue laser diode: the complete story / S. Nakamura, G. Fasol, S. J. Pearton. – Berlin ; Heidelberg : Springer, 2000. – 368 p. : ill., tab.
3. Gupta, S. D. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis / S. D. Gupta, B. Jatothu // Plant Biotechnology Reports. – 2013. – Vol. 7, no. 3. – P. 211–220. – doi: 10.1007/s11816-013-0277-0.
4. Light emitting diode (LED) lights for the improvement of plant performance and production: A comprehensive review / S. Sena, S. Kumari, V. Kumar, A. Husen // Current Research in Biotechnology. – 2024. – Vol. 7. – Art. 100184. – doi: 10.1016/j.crbiot.2024.100184.
5. NASA Research Illuminates Medical Uses of Light // NASA Spinoff. – 2004. – URL: spinoff.nasa.gov (date of access: 01.06.2026).
6. Phytochrome signaling networks / M. C. Cheng, P. K. Kathare, I. Paik [et al.] // Annual Review of Plant Biology. – 2021. – Vol. 72. – P. 217–244. – doi: 10.1146/annurev-arplant-080620-021859.
7. The action mechanisms of plant cryptochromes / H. Liu, B. Liu, C. Zhao [et al.] // Trends in Plant Science. – 2011. – Vol. 16, no. 12. – P. 684–691. – doi: 10.1016/j.tplants.2011.09.002.
8. Christie, J. M. Phototropin blue-light receptors / J. M. Christie // Annual Review of Plant Biology. – 2007. – Vol. 58. – P. 21–45. – doi: 10.1146/annurev-arplant.58.032806.103951.
9. Suetsugu, N. Evolution of three LOV blue light receptor families in green plants and photosynthetic stramenopiles: Phototropin, ZTL/FKF1/LKP2 and aureochrome / N. Suetsugu, M. Wada // Plant and Cell Physiology. – 2013. – Vol. 54, no. 1. – P. 8–23. – doi: 10.1093/pcp/pcs165.
10. Jenkins, G. I. The UV-B Photoreceptor UVR8: From structure to physiology / G. I. Jenkins // The Plant Cell. – 2014. – Vol. 26, no. 1. – P. 21–37. – doi: 10.1105/tpc.113.119446.
11. Light and Plant Growth Regulators on *In Vitro* Proliferation / V. Cavallaro, A. Pellegrino, R. Muleo [et al.] // Plants. – 2022. – Vol. 11, no. 7. – Art. 844. – doi: 10.3390/plants11070844.
12. Light as an Elicitor for Enhanced of Secondary Metabolites in Plant Cell, Tissue, and Organ Cultures / H. N. Murthy, K. S. Joseph, K. Y. Paek [et al.] // Plant Growth Regulation. – 2024. – Vol. 104, no. 1. – P. 31–49. – doi: 10.1007/s10725-024-01156-x.
13. Kumar, V. Plant biotechnology in the new era: From conventional methods to cutting-edge techniques / V. Kumar, K. Doležal // Current Plant Biology. – 2025. – Vol. 41. – Art. 100439. – doi: 10.1016/j.cpb.2024.100439.

14. Plasticity of photosynthesis after the “red light syndrome” in cucumber / G. Trouwborst, S. W. Hogewoning, O. van Kooten [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. – 2016. – Vol. 121. – P. 75–82. – doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.002.
15. Gabryszewska, E. The influence of light quality on the shoot proliferation and rooting of *Gerbera jamesonii* *in vitro* / E. Gabryszewska, R. Rudnicki // *Acta Agrobotanica*. – 1995. – Vol. 48, no. 1. – P. 105–111. – doi: 10.5586/aa.1995.011.
16. Effect of light-emitting diode on growth and shoot proliferation of *Euphorbia millii* and *Spathiphyllum cannifolium* / Y. H. Dewir, D. Chakrabarty, S. J. Kim [et al.] // *Horticultural Science and Technology*. – 2005. – Vol. 46, no. 5. – P. 375–379.
17. Ramírez-Mosqueda, M. A. The effect of light quality on growth and development of *in vitro* plantlet of *Stevia rebaudiana* Bertoni / M. A. Ramírez-Mosqueda, L. G. Iglesias-Andreu, J. R. Bautista-Aguilar // *Sugar Tech*. – 2017. – Vol. 19, no. 3. – P. 331–336. – doi: 10.1007/s12355-016-0458-7.
18. LED lighting affects plant growth, morphogenesis and phytochemical contents of *Myrtus communis* L. *in vitro* / M. Cioć, A. Szewczyk, M. Żupnik [et al.] // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. – 2018. – Vol. 132, no. 3. – P. 433–447. – doi: 10.1007/s11240-017-1340-2.
19. Effect of LED light quality on *in vitro* shoot proliferation and growth of Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) / J. J. Bello-Bello, E. Martínez-Estrada, J. H. Caamal-Velázquez [et al.] // *African Journal of Biotechnology*. – 2016. – Vol. 15, no. 8. – P. 272–277. – doi: 10.5897/AJB2015.15116.
20. Light emitting diodes improve *in vitro* shoot multiplication and growth of *Anthurium andreaeanum* / E. Martínez-Estrada, J. H. Caamal-Velázquez, V. Morales-Ramos [et al.] // *Propagation of Ornamental Plants*. – 2016. – Vol. 16, no. 1. – P. 3–8.
21. Light quality treatments enhance somatic seedling production in three southern pine species / S. A. Merkle, P. M. Montello, X. Xia [et al.] // *Tree Physiology*. – 2006. – Vol. 26, no. 2. – P. 187–194. – doi: 10.1093/treephys/26.2.187.
22. Park, S. Y. Endoreduplication in Phalaenopsis is affected by light quality from light-emitting diodes during somatic embryogenesis / S. Y. Park, E. C. Yeung, K. Y. Paek // *Plant Biotechnology Reports*. – 2010. – Vol. 4, no. 4. – P. 303–309. – doi: 10.1007/s11816-010-0149-x.
23. Kamal, M. M. Effect of light emitting diode (LED) lamps and N-Acetylglucosamine (NAG) on organogenesis in protocorm-like bodies (PLBs) of a *Cymbidium hybrid* cultured *in vitro* / M. M. Kamal, K. Shimasaki, N. Akter // *Plant Tissue Culture and Biotechnology*. – 2014. – Vol. 24, no. 2. – P. 273–277. – doi: 10.3329/ptcb.v24i2.23438.
24. Effects of different spectral lights on *Oncidium* PLBs induction, proliferation, and plant regeneration / L. Mengxi, X. Zhigang, Y. Yang [et al.] // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. – 2011. – Vol. 106, no. 1. – P. 1–10. – doi: 10.1007/s11240-010-9887-1.
25. Huan, L. V. T. Effects of red and blue light-emitting diodes on callus induction, callus proliferation, and protocorm-like body formation from callus in *Cymbidium orchid* / L. V. T. Huan, M. Tanaka // *Environmental Control in Biology*. – 2004. – Vol. 42, no. 1. – P. 57–64. – doi: 10.2525/ecb1963.42.57.
26. Li, H. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets *in vitro* / H. Li, Z. Xu, C. Tang // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. – 2010. – Vol. 103, no. 2. – P. 155–163. – doi: 10.1007/s11240-010-9763-z.
27. Moon, H. K. Growth of Tsuru-rindo (*Tripterospermum japonicum*) cultured *in vitro* under various sources of light-emitting diode (LED) irradiation / H. K. Moon, S.-Y. Park, Y. W. Kim [et al.] // *Journal of Plant Biology*. – 2006. – Vol. 49, no. 2. – P. 174–179. – doi: 10.1007/BF03030538.
28. The effect of light quality on the growth and development of *in vitro* cultured *Doritaenopsis* plants / K. S. Shin, H. N. Murthy, J. W. Heo [et al.] // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2008. – Vol. 30, no. 3. – P. 339–343. – doi: 10.1007/s11738-007-0126-6.
29. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of *Chrysanthemum* plantlets *in vitro* / S. J. Kim, E. J. Hahn, J. W. Heo [et al.] // *Scientia Horticulturae*. – 2004. – Vol. 101, no. 1/2. – P. 143–151. – doi: 10.1016/j.scienta.2003.10.003.
30. Hahn, E.-J. Blue and red light-emitting diodes with or without sucrose and ventilation affect *in vitro* growth of *Rehmannia glutinosa* plantlets / E.-J. Hahn, T. Kozai, K.-Y. Paek // *Journal of Plant Biology*. – 2000. – Vol. 43, no. 4. – P. 247–250. – doi: 10.1007/BF03030424.
31. Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown *in vitro* / B. Pawłowska, M. Żupnik, B. Szewczyk-Taranek [et al.] // *Horticultural Science and Technology*. – 2018. – Vol. 59, no. 1. – P. 115–123. – doi: 10.1007/s13580-018-0015-1.
32. Morphogenesis of potato plants *in vitro*. Effect of light quality and hormones / N. P. Aksenova, T. N. Konstantinova, L. I. Sergeeva [et al.] // *Plant Growth Regulation*. – 1994. – Vol. 15, no. 2. – P. 143–146. – doi: 10.1007/BF00024098.
33. Responses of strawberry plantlets cultured *in vitro* under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs) / D. T. Nhut, T. Takamura, H. Watanabe [et al.] // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2003. – Vol. 73, no. 1. – P. 43–52. – doi: 10.1023/A:1022645012543.
34. Li, H. The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis *in vitro* / H. Li, C. Tang, Z. Xu // *Scientia Horticulturae*. – 2013. – Vol. 150. – P. 117–124. – doi: 10.1016/j.scienta.2012.10.009.
35. Liu, M. Evaluation of leaf morphology, structure and biochemical substance of balloon flower (*Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC.) plantlets *in vitro* under different light spectra / M. Liu, Z. Xu, S. Guo // *Scientia Horticulturae*. – 2014. – Vol. 174. – P. 112–118. – doi: 10.1016/j.scienta.2014.05.006.

36. Da Silva, M. The effect of light quality on the morphogenesis of *in vitro* cultures of *Azorina vidalii* (Wats.) / M. Da Silva, P. Debergh // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 1997. – Vol. 51, no. 3. – P. 187–193. – doi: 10.1023/A:1005934509153.
37. Light quality affects shoot regeneration, cell division, and wood formation in elite clones of *Populus euramericana* / A. Kwon, H.-Y. Cui, H. Lee [et al.] // Acta Physiologiae Plantarum. – 2015. – Vol. 37, no. 4. – Art. 65. – doi: 10.1007/s11738-015-1815-5.
38. Wu, H. C. Red light-emitting diode light irradiation improves root and leaf formation in difficult to propagate *Protea cynaroides* L. plantlets *in vitro* / H. C. Wu, C.-C. Lin // HortScience. – 2012. – Vol. 47, no. 10. – P. 1490–1494. – doi: 10.21273/HORTSCI.47.10.1490.
39. *In vitro* proliferation and *ex vitro* rooting of microshoots of commercially important rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* reade) Using spectral lights / C. D. Hung, C.-H. Hong, S.-K. Kim [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2016. – Vol. 211. – P. 248–254. – doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.006.
40. Effect of light and natural ventilation systems on the growth parameters and carvacrol content in the *in vitro* cultures of *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. / S. T. Silva, S. K. V. Bertolucci, S. H. B. da Cunha [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). – 2017. – Vol. 129, no. 3. – P. 501–510. – doi: 10.1007/s11240-017-1195-6.
41. Blue light alleviates ‘red light syndrome’ by regulating chloroplast ultrastructure, photosynthetic traits and nutrient accumulation in cucumber plants / Y. Miao, Q. Chen, M. Qu [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2019. – Vol. 257. – Art. 108680. – doi: 10.1016/j.scienta.2019.108680.
42. Effects of red light on the growth of *Zantedeschia* plantlets *in vitro* and tuber formation using light-emitting diodes / R.-C. Jao, C.-C. Lai, W. Fang [et al.] // HortScience. – 2005. – Vol. 40, no. 2. – P. 436–438. – doi: 10.21273/HORTSCI.40.2.436.
43. *In vitro* culture of *Chrysanthemum* plantlets using light-emitting diodes / A. Kurilčik, R. Miklušytė-Čanova, S. Dapkūnienė [et al.] // Open Life Sciences. – 2008. – Vol. 3, no. 2. – P. 161–167. – doi: 10.2478/s11535-008-0006-1.
44. Growth responses of marigold and salvia bedding plants as affected by monochromic or mixture radiation provided by a light emitting diode (LED) / J. W. Heo, C. W. Lee, D. Chakrabarty [et al.] // Plant Growth Regulation. – 2002. – Vol. 38, no. 3. – P. 225–230. – doi: 10.1023/A:1021503305417.
45. *In vitro* culture of *Achillea millefolium* L.: Quality and intensity of light on growth and production of volatiles / I. C. A. Alvarenga, F. V. Pacheco, S. T. Silva [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). – 2015. – Vol. 122, no. 2. – P. 299–308. – doi: 10.1007/s11240-015-0766-7.
46. Muleo, R. Physiological dissection of blue and red light regulation of apical dominance and branching in M9 apple rootstock growing *in vitro* / R. Muleo, S. Morini // Journal of Plant Physiology. – 2008. – Vol. 165, no. 17. – P. 1838–1846. – doi: 10.1016/j.jplph.2008.04.017.
47. Muleo, R. Photoregulation of growth and branching of plum shoots: Physiological action of two photosystems / R. Muleo, S. Morini, S. Casano // In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant. – 2001. – Vol. 37, no. 5. – P. 609–617. – doi: 10.1007/s11627-001-0107-y.
48. Effects of light quality on growth and development of protocorm-like bodies of *dendrobium officinale* *in vitro* / Y. Lin, J. Li, B. Li [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). – 2011. – Vol. 105, no. 3. – P. 329–335. – doi: 10.1007/s11240-010-9871-9.
49. New somaclone of *Prunus avium* shows diverse growth pattern under different spectral quality of radiation / C. Piagnani, C. Iacona, M. C. Intrieri [et al.] // Biologia Plantarum. – 2002. – Vol. 45, no. 1. – P. 45–50. – doi: 10.1023/A:1015112028612.
50. LED Light for *in vitro* and *ex vitro* efficient growth of economically important highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) / C. D. Hung, C.-H. Hong, S.-K. Kim [et al.] // Acta Physiologiae Plantarum. – 2016. – Vol. 38, no. 6. – Art. 152. – doi: 10.1007/s11738-016-2169-1.
51. Lotfi, M. Optimizing pear micropropagation and rooting with light emitting diodes and trans-cinnamic acid / M. Lotfi, M. Mars, S. Werbrouck // Plant Growth Regulation. – 2019. – Vol. 88, no. 2. – P. 173–180. – doi: 10.1007/s10725-019-00498-w.
52. Quality and intensity of light affect *Lippia gracilis* Schauer plant growth and volatile compounds *in vitro* / L. E. S. Lazzarini, S. K. V. Bertolucci, F. V. Pacheco [et al.] // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). – 2018. – Vol. 135, no. 2. – P. 367–379. – doi: 10.1007/s11240-018-1469-z.
53. Physiological and proteomic insights into red and blue light-mediated enhancement of *in vitro* growth in *Scrophularia kakudensis* a potential medicinal plant / A. Manivannan, P. Soundararajan, Y. G. Park [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2021. – Vol. 11. – Art. 607007. – doi: 10.3389/fpls.2020.607007.
54. Sugar-free micropropagation of *Eucalyptus citriodora* using light-emitting diodes (LEDs) and film-rockwool culture system / D. T. Nhut, T. Takamura, H. Watanabe [et al.] // Environmental Control in Biology. – 2002. – Vol. 40, no. 2. – P. 147–155. – doi: 10.2525/ecb1963.40.147.
55. Al-Mayahi, A. M. W. Effect of red and blue light emitting diodes “CRB-LED” on *in vitro* organogenesis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Alshakr / A. M. W. Al-Mayahi // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2016. – Vol. 32, no. 10. – Art. 160. – doi: 10.1007/s11274-016-2115-4.
56. Lian, M. L. Effects of light emitting diodes (LEDs) on the *in vitro* induction and growth of bulblets of *Lilium oriental* hybrid ‘Pesaro’ / M.-L. Lian, H. N. Murthy, K.-Y. Paek // Scientia Horticulturae. – 2002. – Vol. 94, no. 3/4. – P. 365–370. – doi: 10.1016/S0304-4238(01)00384-5.

57. Jao, R.-C. Effects of frequency and duty ratio on the growth of potato plantlets *in vitro* using light-emitting diodes / R.-C. Jao, W. Fang // HortScience. – 2004. – Vol. 39, no. 2. – P. 375–379. – doi: 10.21273/HORTSCI.39.2.375.
58. Effects of light-emitting diodes on tissue culture plantlets and seedlings of Rice (*Oryza sativa* L.) / L. Yu, C. Song, L. Sun [et al.] // Journal of Integrative Agriculture. – 2020. – Vol. 19, no. 7. – P. 1743–1754. – doi: 10.1016/S2095-3119(19)62788-3.
59. The effect of spectral light quality on *in vitro* culture of sugarcane / M. M. Silva, A. L. B. de Oliveira, R. A. Oliveira-Filho [et al.] // Acta Scientiarum. Biological Sciences. – 2016. – Vol. 38, no. 2. – P. 157–161. – doi: 10.4025/actasci-biolsci.v38i2.29654.
60. Budiarto, K. Spectral quality affects morphogenesis on *Anthurium* plantlet during *in vitro* culture / K. Budiarto // Agrivita. – 2010. – Vol. 32, no. 3. – P. 234–240.
61. Effects of light emitting diodes on micropropagation of *Phalaenopsis orchids* / A. Wongnok, C. Piluek, T. Techasilpitak [et al.] // Acta Horticulturae. – 2008. – Vol. 788. – P. 149–156. – doi: 10.17660/ActaHortic.2008.788.19.
62. Light-emitting diodes and their potential in callus growth, plantlet development and saponin accumulation during somatic embryogenesis of *Panax vietnamensis* Ha et Grushv. / D. T. Nhut, N. P. Huy, N. T. Tai [et al.] // Biotechnology & Biotechnological Equipment. – 2015. – Vol. 29, no. 2. – P. 299–308. – doi: 10.1080/13102818.2014.1000213.
63. Growth and proliferation *in vitro* of *Vaccinium corymbosum* under different irradiance and radiation spectral composition / N. Noe, T. Eccher, E. Del Signore [et al.] // Biologia Plantarum. – 1998. – Vol. 41, no. 2. – P. 161–167. – doi: 10.1023/A:1001893902302.
64. Herrington, E. Light quality growth promotion of *Spiraea nipponica*: The influence of a low photon fluence rate and transfer time to a higher fluence rate / E. Herrington, J. C. McPherson // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 1993. – Vol. 32, no. 2. – P. 161–167. – doi: 10.1007/BF00035928.
65. Application of wide-spectrum light-emitting diodes in micropropagation of popular ornamental plant species: A study on plant quality and cost reduction / N. Miler, D. Kulus, A. Woźny [et al.] // In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant. – 2019. – Vol. 55, no. 1. – P. 99–108. – doi: 10.1007/s11627-018-9949-x.
66. Chung, J.-P. Spectral effects on embryogenesis and plantlet growth of *Oncidium* ‘Gower Ramsey’ / J.-P. Chung, C.-Y. Huang, T.-E. Dai // Scientia Horticulturae. – 2010. – Vol. 124, no. 4. – P. 511–516. – doi: 10.1016/j.scienta.2010.02.008.
67. Effect of red-, far-red- and blue-light-emitting diodes on *in vitro* growth of *Ficus benjamina* / S. Werbrouck, H. Buyle, D. Geelen [et al.] // Acta Horticulturae. – 2012. – Vol. 961. – P. 533–538. – doi: 10.17660/ActaHortic.2012.961.70.
68. Effect of light quality, sucrose and coconut water concentration on the micropropagation of *Calanthe* hybrids (‘Bukduseong’ ‘Hyesung’ and ‘Chunkwang’ ‘Hyesung’) / M. A. Baque, Y.-K. Shin, T. Elshamari [et al.] // Australian Journal of Crop Science. – 2011. – Vol. 5, no. 10. – P. 1247–1254.
69. Muleo, R. Photoregulation of growth and branching of plum shoots: Physiological action of two photosystems / R. Muleo, S. Morini, S. Casano // In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant. – 2001. – Vol. 37, no. 5. – P. 609–617. – doi: 10.1007/s11627-001-0107-y.
70. Effects of green and red lights on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets *in vitro* / X. Ma, Y. Wang, M. Liu [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2015. – Vol. 190. – P. 104–109. – doi: 10.1016/j.scienta.2015.04.011.
71. Effects of thidiazuron, basal medium and light quality on adventitious shoot regeneration from *in vitro* cultured stem of *Populus alba* and *P. berolinensis* / H. Wang, H. Liu, W.-J. Wang [et al.] // Journal of Forestry Research. – 2008. – Vol. 19, no. 4. – P. 257–259. – doi: 10.1007/s11676-008-0046-6.
72. Zhang, Z. Effects of different light qualities on the multiplication of the callus from *Vitis vinifera* L. and resveratrol content / Z. Zhang, S. Li, W. Li // Plant Physiology Communications. – 2008. – Vol. 44, no. 5. – P. 883–886.
73. Billore, V. Monochromatic radiation through light-emitting diode (LED) positively augments *in vitro* shoot regeneration in Orchid (*Dendrobium sonia*) / V. Billore, M. Jain, P. Suprasanna // Canadian Journal of Biotechnology. – 2017. – Vol. 1, no. 2. – P. 50–58. – doi: 10.24870/cjb.2017-a00038.
74. Karatas, M. Influence of light-emitting diodes and benzylaminopurin on adventitious shoot regeneration of water hyssop (*Bacopa monnieri* (L.) Pennell) *in vitro* / M. Karatas, M. Aasim, M. Dazkirli // Archives of Biological Sciences. – 2016. – Vol. 68, no. 3. – P. 501–508. – doi: 10.2298/ABS150914040K.
75. Effect of immersion systems, lighting, and TIS designs on biomass increase in micropropagating banana (*Musa* spp. Cv. ‘Grande Naine’ AAA) / D. Wilken, E. Jiménez, A. Gonzalez [et al.] // In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant. – 2014. – Vol. 50, no. 5. – P. 582–589. – doi: 10.1007/s11627-014-9614-7.
76. Michalczyk, B. The effect of light quality on regeneration rate and plantlet development in transgenic petunia ‘Revolution’ (Surfinia type) / B. Michalczyk, L. Michalczyk // Acta Horticulturae. – 2000. – Vol. 530. – P. 397–402. – doi: 10.17660/ActaHortic.2000.530.50.
77. Gök, K. M. Micropropagation of Gerbera (*Gerbera jamesonii* bolus) under different color of light-emitting diodes / K. M. Gök, B. San, A. K. Bayhan // Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. – 2016. – Vol. 20, no. 3. – P. 461–468. – doi: 10.19113/sdufbed.67756.
78. Kumar, K. Morphophysiological Problems in Acclimatization of Micropropagated Plants in *Ex Vitro* Conditions: A Review / K. Kumar, I. U. Rao // Journal of Ornamental Plants. – 2012. – Vol. 2, no. 4. – P. 271–283.
79. Особенности формирования фотосинтетического аппарата микроклонов *Populus tremula* L. и *Betula pendula* Roth. при LED-освещении различного спектрального состава в процессе адаптации *ex vitro* / Т. Н. Куделина, А. В.

Константинов, Л. В. Обуховская, О. В. Молчан // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 456–466. – doi: 10.29235/1561-8323-2019-64-4-456-466.

80. Культура растительных клеток и тканей: технология получения, разнообразие фармакологически активных метаболитов и приемы регуляции их синтеза / В. М. Юрин, Т. И. Дитченко, О. В. Молчан [и др.] // Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2009. – Т. 4, ч. 2. – С. 168–182.

81. Cioć, M. Influence of LED Light Spectra on Morphogenesis, Secondary Metabolite Production and Antioxidant Potential in *Eucomis autumnalis* Cultured *In Vitro* / M. Cioć, A. Szopa, B. Prokopiuk // Agronomy. – 2025. – Vol. 15, no. 9. – Art. 2197. – doi: 10.3390/agronomy15092197.

82. The Effect of Different Light Treatments on Morphogenesis, Phenolic Compound Accumulation and Antioxidant Potential of *Dracocephalum forrestii* Transformed Shoots Cultured *in Vitro* / I. Weremczuk-Jeżyna, Ł. Kuźma, I. Grzegorzczak-Karolak [et al.] // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. – 2021. – Vol. 224. – Art. 112329. – doi: 10.1016/j.jphotobiol.2021.112329.

83. Elicitation and Enhancement of Phenolics Synthesis with Zinc Oxide Nanoparticles and LED Light in *Lilium candidum* L. Cultures *In Vitro* / P. Palka, B. Muszyńska, A. Szewczyk [et al.] // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, no. 6. – Art. 1437. – doi: 10.3390/agronomy13061437.

84. Zhang, Z. *In vitro* plant regeneration and bioactive metabolite production of endangered medicinal plant *Fritillaria cirrhosa* / Z. Zhang, C. Xing, H. Su [et al.] // Current Plant Biology. – 2024. – Vol. 39. – Art. 100363. – doi: 10.1016/j.cpb.2024.100363.

85. Молчан, О. В. Влияние LED-освещения различного спектрального состава на рост и биосинтез алкалоидов в каллусных культурах *Vinca minor* / О. В. Молчан, В. М. Юрин // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. – 2018. – № 2. – С. 48–56. – doi: 10.33581/2521-1722-2018-2-48-56.

86. Matsuda, R. The Impacts of Environmental Factors and Culture Conditions on the Transient Expression of Recombinant Protein in *Nicotiana benthamiana* Under Controlled Environments / R. Matsuda // Plant Biotechnology Journal. – 2026. – Vol. 24, no. 1. – P. 55–65. – doi: 10.1111/pbi.14680.

87. Hiatt, A. Production of Antibodies in Transgenic Plants / A. Hiatt, R. Cafferkey, K. Bowdish // Nature. – 1989. – Vol. 342, no. 6245. – P. 76–78. – doi: 10.1038/342076a0.

88. Plant-Made Pharmaceuticals / N. Fukuzawa, K. Matsuo, G. Atsumi [et al.] // Plant Biotechnology. – 2024. – Vol. 41, no. 3. – P. 243–260. – doi: 10.5511/plantbiotechnology.24.0515a.

89. Multi-Omics Analyses Reveal the Red and Far-Red Light Combination Enhancing Heterologous Protein and Metabolite Production in *Nicotiana benthamiana* / Y. Zhang, F. Wang, R. Du [et al.] // Plant, Cell & Environment. – 2025. – Vol. 48, no. 5. – P. 1–14. – doi: 10.1111/pce.15230.

90. Matsuda, R. Inter-Batch Variability of Hemagglutinin Content Transiently Expressed in *Nicotiana benthamiana* Plants Grown Under Sole-Source Lighting and Sunlight Conditions Before Gene Transfer / R. Matsuda // Journal of Agricultural Meteorology. – 2022. – Vol. 78, no. 4. – P. 164–173. – doi: 10.2480/agrmet.D-22-00013.

91. Burritt, D. J. Adventitious shoot regeneration from *Begonia erythrophylla* petiole sections is developmentally sensitive to light quality / D. J. Burritt, D. W. Leung // Physiologia Plantarum. – 2003. – Vol. 118, no. 2. – P. 289–296. – doi: 10.1034/j.1399-3054.2003.00100.x.

92. The potential applications of cytokinins and cytokinin oxidase/dehydrogenase inhibitors for mitigating abiotic stresses in model and non-model plant species / M. P. Voko, A. O. Aremu, N. P. Makunga [et al.] // Current Plant Biology. – 2024. – Vol. 40. – Art. 100398. – doi: 10.1016/j.cpb.2024.100398.

93. Roman, H. Cytokinins are initial targets of light in the control of bud outgrowth / H. Roman, T. Girault, F. Barbier [et al.] // Plant Physiology. – 2016. – Vol. 172, no. 1. – P. 489–509. – doi: 10.1104/pp.116.00523.

94. Effect of light on growth and endogenous hormones in *Chlorella minutissima* (Trebouxiophyceae) / W. A. Stirk, P. Bálint, D. Tarkowska [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2014. – Vol. 79. – P. 66–76. – doi: 10.1016/j.plaphy.2014.03.005.

95. RNA-Seq analysis of grape plantlets grown *in vitro* reveals different responses to blue, green, red led light, and white fluorescent light / C.-X. Li, Z.-G. Xu, R.-Q. Dong [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2017. – Vol. 8. – Art. 78. – doi: 10.3389/fpls.2017.00078.

96. Chee, R. Morphogenic responses to propagule trimming, spectral irradiance, and photoperiod of grapevine shoots recultured *in vitro* / R. Chee, R. M. Pool // Journal of the American Society for Horticultural Science. – 1989. – Vol. 114, no. 2. – P. 350–354. – doi: 10.21273/JASHS.114.2.350.

97. Seibert, M. The effects of light intensity and spectral quality on growth and shoot initiation in tobacco callus / M. Seibert, P. J. Wetherbee, D. D. Job // Plant Physiology. – 1975. – Vol. 56, no. 1. – P. 130–139. – doi: 10.1104/pp.56.1.130.

98. Особенности фотоморфогенеза *Arabidopsis thaliana* в условиях LED-освещения различного спектрального состава / Т. Н. Куделина, А. С. Кривобок, Т. Н. Бибилова, О. В. Молчан // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2021. – Т. 66, № 1. – С. 42–52. – doi: 10.29235/1561-8323-2021-66-1-42-52.

99. Panizza, M. Axillary bud proliferation and ethylene production as controlled by radiation of different spectral composition and exogenous phytohormones / M. Panizza, F. Tognoni, B. Lercari // Biologia Plantarum. – 1994. – Vol. 36, no. 4. – P. 553–563. – doi: 10.1007/BF02921175.

100. Baraldi, R. *In vitro* shoot development of *Prunus* GF 655–2: Interaction between light and benzyladenine / R. Baraldi, F. Rossi, B. Lercari // *Physiologia Plantarum*. – 1988. – Vol. 74, no. 3. – P. 440–443. – doi: 10.1111/j.1399-3054.1988.tb02000.x.

101. Transcriptome Analysis Reveals Effects of Red and Blue Light-Emitting Diodes (LEDs) on the Growth, Chlorophyll Fluorescence and Endogenous Plant Hormones of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Plantlets Cultured *in Vitro* / L. Chen, H. Y. Wang, X. C. Gong [et al.] // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2021. – Vol. 20, no. 11. – P. 2914–2931. – doi: 10.1016/S2095-3119(21)63634-1.

102. Light Spectra Affect the *in Vitro* Shoot Development of *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) by Changing the Protein Profile and Polyamine Contents / T. D. R. Oliveira, V. P. M. Aragão, K. C. Moharana [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*. – 2020. – Vol. 1868, no. 11. – Art. 140529. – doi: 10.1016/j.bbapap.2020.140529.

103. Modulation of Morpho-Physiological Attributes and *in Situ* Analysis of Secondary Metabolites Using Raman Spectroscopy in Response to Red and Blue Light Exposure in *Artemisia annua* / N. Rai, S. Kumari, S. Singh [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. – 2024. – Vol. 217. – Art. 105563. – doi: 10.1016/j.envexpbot.2023.105563.

Поступила в редакцию 08.06.2026

Принята к публикации 07.08.2026

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Молчан Ольга Викторовна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией биофотоники и стрессоустойчивости растений Государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Молчан, О. В. Потенциал светодиодного освещения как эффективного инструмента в биотехнологии растений / О. В. Молчан // *Ботаника (исследования)* / НАН Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси, Ботан. о-во. – Минск, 2026. – Вып. 57. – С. 240–259.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ REQUIREMENTS FOR AUTHORS

1. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные, не иметь научно некорректного заимствования (использования результатов иных лиц, без ссылок на автора и источник). Редакция оставляет за собой право проверки материалов на антиплагиат.

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 должен составлять **не менее 14 тыс. печатных знаков** и не должен превышать ~40 тыс. печатных знаков, или 7 тыс. слов, иной объем необходимо согласовать с редакцией. Объем статей о персоналиях должен составлять не более 6–7 тыс. печатных знаков или 1 тыс. слов.

3. Все материалы представляют в электронном и в распечатанном виде с подписями всех авторов (или одного из авторов с пометкой «согласовано со всеми соавторами») на последнем листе. На отдельных листах к материалам прилагаются:

- 3.1. Сведения на русском языке с фамилиями, именами, отчествами авторов, указанием их должности, ученой степени и звания, полным названием учреждения, SPIN-кодом и AuthorID портала elibrary.ru; электронным адресом и номером телефона одного из авторов для сообщений.
- 3.2. Акт экспертизы о возможности опубликования статьи в открытой печати.
- 3.3. Сопроводительное письмо руководства или выписка из протокола заседания ученого совета (отдела, кафедры и т.п.) учреждения, в котором выполнена работа, либо завизированная научным руководителем (руководителем структурного подразделения) первая страница статьи. Подпись должна иметь расшифровку и заверена печатью учреждения.
- 3.4. Акт передачи типа/изотипа таксона либо дублета в фонд Гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси – для статей о новых таксонах и новых флористических находках на территории Беларуси (для оценки рецензентом).

4. В электронном варианте работа предоставляется в редакцию в формате *.docx, *.doc, *.rtf. Название файла – фамилии первых (1–3) авторов на языке публикации. Формат страницы – **A4**, книжная ориентация, все поля – **2,2 см**. Шрифт текста – **Times New Roman**, межстрочный интервал – **1,0**, кегль шрифта **12**, абзацный отступ – **0,5 см**, выравнивание – по ширине, автоматические переносы слов – отключены. Для заглавной части (авторы, название статьи и учреждения) – без отступа, выравнивание по центру.

5. Структурные элементы статьи располагают 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 дублируют на латыни.
- 5.4. Полное наименование учреждений, город, страна, адрес электронной почты (одного из авторов). Если статья предоставлена 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 излагает 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 русскоязычных статьях на *английском языке* полностью приводят все данные, предшествующие основному тексту статьи (пп. 5.1.–5.5.: авторы, название статьи, учреждения и аннотация); в англоязычных статьях вышеуказанные данные приводят на *русском языке*, в белорусскоязычных статьях – на *русском и английском языке*.
- 5.7. Основной текст статьи должен содержать рубрики: «Введение», «Объекты (материалы) и методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Заключение».

Рисунки и таблицы вставляют в основной текст, общее их количество, как правило, не должно превышать 8–10. Названия таблиц и рисунков дают на *русском* (либо *белорусском*) и *английском языках*. Ссылки в тексте – рис. и табл., при повторной ссылке – см. рис., см. табл. Переход таблиц на следующую страницу через функцию «повторить строки заголовков».

Латинское название родов и видов растений печатают *курсивом*, при первом упоминании приводят ссылку на автора прямым шрифтом (напр., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench). При использовании русских названий растений обязательно приводится и латинское название. Возможно сокращение родового названия при полном упоминании в начале каждого абзаца.

Названия синтаксонов пишут *полужирным курсивом* и при первом упоминании должны сопровождаться фамилией валидно опубликовавшего автора и годом публикации (обычным шрифтом). Названия синтаксонов, состоящие двух таксонов, при наличии видовых эпитетов пишут через среднее тире (–) (*Helictotricho desertorum–Stipetalia*, *Trifolio–Festucetum rubrae*, *Vaccinio uliginosi–Pinetum sylvestris*), при их отсутствии – через дефис (*Vaccinio–Piceetea*).

5.8. Под заголовком «Благодарности», «Падзяка» или «Acknowledgements» сообщают информацию о финансовой поддержке проектов грантами, а также о консультативной или методической помощи в проведении исследований.

5.9. Литература (цитируемые источники) – как правило, от 10 до 50 ссылок, приводят общим списком **в порядке упоминания**, в тексте представлены порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1], [2, 3]). Список оформляют в соответствии с требованиями *Высшей аттестационной комиссии* Республики Беларусь. Ссылки на неопубликованные работы (отчеты и т.п.) **не допускаются**. Ссылки на собственные работы – не более 20% от общего количества.

6. Прочие технические требования:

6.1. Не изменять стандартных положений колонтитулов.

6.2. Для формул использовать формульный редактор Word.

6.3. Вставку специальных символов выполнять через меню «Вставка / Символ».

6.4. Верхний и нижний индексы (C^4 , C_2) выполнять через меню «Шрифт / Верхний индекс», «Шрифт / Нижний индекс».

6.5. Для символов химических элементов (Na, Fe, Cl и др.) использовать прямой шрифт.

6.6. Между цифрами всегда ставят среднее тире (–) без пробелов (напр., 28,3–34,6, 8–10).

6.7. Графический материал вставляют в текст **без сжатия рисунков**. Редакция вправе затребовать графический материал в виде отдельных файлов.

7. Поступившие в редакцию рукописи регистрируют, рассматривают на соответствие профилю издания, соблюдение правил оформления, оценивают на новизну представленных данных и научное заимствование. Все представляемые материалы проходят рецензирование. По рекомендации рецензента рукописи возвращают авторам на доработку. Правки авторы вносят в текст самостоятельно и готовят ответ рецензенту, где указывают какие замечания учтены, какие нет и аргументируют отказ от внесения правок. Переработанные рукописи передают редколлегии для принятия решения о публикации их в очередном выпуске сборника. Редколлегия оставляет за собой право сокращать и редактировать текст статьи (включая оптимизацию названия). Сверстанный макет статьи (гранки) направляют авторам для корректуры, обязанность автора внимательно и в сжатые сроки вычитать материал, это последняя возможность внесения незначительных изменений перед публикацией.

8. Плата с авторов за публикацию рукописей не взимается. Авторы должны активно сотрудничать с редакцией: быстро отвечать на все запросы, вносить рекомендованные исправления.

9. **Электронный вариант статьи** предоставляют в редакцию **только** по электронной почте: **botanika.issledovaniy@gmail.com**. Название файла должно состоять из фамилий первых (1–3) авторов на языке публикации.

Отправляя статью в адрес редакции вы, тем самым, подтверждаете свое согласие и согласие всех соавторов на публикацию отредактированного варианта статьи в Сборнике научных трудов «Ботаника (исследования)» в бумажном и электронном виде, а также распространение ее в сети интернет, размещение в наукометрической базе данных РИНЦ и иных базах.

10. Материалы в распечатанном 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. 301, Зеленкевич Наталья Алексеевна. Тел. для справок: +375 17 378 25 14.

Научное издание

**БОТАНИКА
(ИССЛЕДОВАНИЯ)**
сборник научных трудов

Выпуск 57

Ответственный за выпуск: *Н. А. Зеленкевич*
Логотип на обложке: *Д. В. Гегеня*

Подписано в печать 28.08.2026.
Формат 60х84¹/₈. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл.печ.л. 30,5. Уч.-изд.л. 30,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 421.

Выпущено по заказу
Государственного научного учреждения
«Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси»

Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр
Министерства финансов Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 2/41 от 29.01.2014
220004, г. Минск, ул. Кальварийская, 17