ISSN 2221-9927

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
НАУК БЕЛАРУСИ ПО БИОРЕСУРСАМ»

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ
ИМЕНИ В. Ф. КУПРЕВИЧА НАН БЕЛАРУСИ»

ОБЩЕСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«БЕЛОРУССКОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

БЕЛОРУССКОЕ ОБЩЕСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ФИЗИОЛОГОВ РАСТЕНИЙ

БОТАНИКА

(ИССЛЕДОВАНИЯ)

Выпуск 50

Издается с 1959 года

Минск
«Колорград»
2021

УДК 582

Ботаника (исследования) : сборник научных трудов. Выпуск 50 / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2021. – 448 с.
ISSN 2221-9927.

В сборнике представлены оригинальные научные статьи белорусских ученых из ведущих научно-исследовательских учреждений Национальной академии наук и вузов Беларуси, содержащие результаты экспериментальных исследований, теоретических и практических разработок в широком спектре направлений ботанической науки, физиологии и экологии растений.

Публикуемые в сборнике научные статьи рецензируются ведущими специалистами в области ботаники, экологии, физиологии и биохимии растений.

Редакционная коллегия:

акад. НАН Беларуси, проф. Н. А. Ламан
акад. НАН Беларуси, проф. В. И. Парфенов
д. б. н., проф. Н. Г. Аверина
к. б. н. Д. Г. Груммо
д. б. н., проф. В. В. Карпук
к. б. н. Н. А. Копылова
д. б. н. Г. Ф. Рыковский
чл.-корр. НАН Беларуси, д. б. н. В. Н. Прохоров
к. б. н. А. В. Пугачевский
д. б. н. В. В. Сарнацкий

Научные редакторы:
акад. НАН Беларуси, проф. Н. А. Ламан
акад. НАН Беларуси, проф. В. И. Парфенов

Ответственный секретарь
к. б. н. Т. А. Будкевич

ISSN 2221-9927

© ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича», 2021
© Оформление. ООО «Колорград», 2021

220072, г. Минск, ул. Академическая, 27,
Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси.
Факс +375 (17) 322-18-53, тел. +375 (17) 374 00 27, e-mail: nan.botany@yandex.by

ISSN 2221-9927

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCIES OF BELARUS
DEPARTMENT OF BIOLOGICAL SCIENCIES

STATE SCIENTIFIC AND PRODUCTION ASSOCIATION
"SCIENTIFIC AND PRACTICAL CENTER OF
BELARUS ON BIORESOURCES"

STATE SCIENTIFIC INSTITUTION

"V. F. KUPREVICH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF
THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCIES OF BELARUS"

SOCIAL ASSOCIATION "BELARUSSIAN BOTANICAL SOCIETY"

BELARUSSIAN SOCIAL ASSOCIATION OF PLANT PHYSIOLOGISTS

B O T A N Y

(R E S E A R C H)

Issue 50

Published since 1959

Minsk
"Kolorgrad"
2021

UDK 582

Botany (research): Collection of scientific transactions. Issue 50 / V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus. – Minsk, 2021. – 448 p.
ISSN 2221-9927

This publication presents original scientific articles of leading researchers from the National Academy of Sciences of Belarus and Institutions of higher education, containing of theoretical and practical results in sphere of botany, plant physiology and biochemistry, ecology.

Article typescripts are reading by experts of according biological specialized fields.

E d i t o r i a l b o a r d :
N. A. Laman – Academician, D. Sc. (Biology), Professor
V. I. Parfenov – Academician, D. Sc. (Biology), Professor
N. G. Averina – D. Sc. (Biology), Professor
D. G. Grummo – Ph. D. (Biology)
V. V. Karpuk – D. Sc. (Biology)
N. A. Kopylova – Ph. D. (Biology)
V. N. Prokhorov – Corresponding Member, D. Sc. (Biology)
A. V. Puhachevsky – Ph. D. (Biology)
G. F. Rykovsky – D. Sc. (Biology)
V. V. Sarnatsky – D. Sc. (Agricultural)

S c i e n t i f i c E d i t o r s :
N. A. Laman (Academician, D. Sc. (Biology), Professor)
V. I. Parfenov (Academician, D. Sc. (Biology), Professor)

E x e c u t i v e S e c r e t a r y :
T. A. Budkevich – Ph. D. (Biology)

ISSN 2221-9927

© "V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany", 2021
© Publisher and printing. "Kolorgrad", 2021

Adress:
27, Akademicheskaya str., room 307, 220072, Minsk, Republic of Belarus
V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus.
Fax: +375 (17) 322 18 53, tel. + 375 (17) 374 00 27, e-mail: nan.botany@yandex.by

УДК 061.6:57

А. В. ПУГАЧЕВСКИЙ, А. Ф. СУДНИК

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМЕНИ В. Ф. КУПРЕВИЧА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЙ, НАСТОЯЩЕЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ (К 90-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ)

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: nan.botany@yandex.by

В статье представлен краткий обзор истории создания, развития и результатов деятельности старейшего в республике научного учреждения биологического профиля – Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси за 90-летний период существования. Освещаются этапы формирования его структуры и научного кадрового состава, реализации задач исследований в области традиционных и возникающих новых направлений ботанической науки, физиологии и биохимии растений, микологии, фитопатологии, экологии. Показаны основные научные достижения ученых-ботаников и их вклад в решение проблем лесного и сельского хозяйства, в практику природо- и ресурсоведения, охраны окружающей среды, в развитие биотехнологических инноваций в области защиты растений и фармакологии. Приведен перечень планируемых на перспективу направлений исследований на основе освоения и внедрения новых мировых достижений в ботанике и смежных дисциплинах, использования новых методов, технических средств, информационных технологий, научно-опытных производств.

A. V. PUHACHEVSKY, A. F. SUDNIK

INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS: FORMATION AND RESEARCH HISTORY, THE PRESENT AND THE FUTURE LINES OF DEVELOPMENT (TO THE 90-th ANNIVERSARY)

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

The paper presents a brief historical review of the formation, development and achievements of the republic's oldest scientific institution of biological type V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the NAS of Belarus over the 90-year period. The stages of the structure and scientific team formation, themes and lines of research in the field of traditional botany as well as innovative botany, plant physiology and biochemistry, mycology, phytopathology and ecology are described. The most important achievements of the scientists and their contribution to the solution of forest and agricultural economy problems, practice of nature- and resources authority, environment protection and the development of innovative biotechnological methods of plant protection and pharmacology are discussed. A number of long-term research lines on the basis of the assimilation and introduction of the world's latest achievements in the field of botany and closely-related sciences, modern methods and technical means, information technologies, scientific and experimental production centeres are put forward.

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси – старейшее в республике научно-исследовательское учреждение биологического профиля. Институт создан постановлением Президиума Белорусской академии наук от 29.03.1931 г. на базе кафедр ботаники, зоологии, физиологии и экспериментальной биологии Института белорусской культуры. Совет Народных Комиссаров БССР постановлением от 13.05.1931 г. № 173 одобрил решение Президиума БАН о структурной перестройке – переходе от системы кафедр к системе специальных институтов. С момента организации и до начала Великой Отечественной войны (1931–1941 гг.) вновь созданное учреждение носило название Институт биологических наук. В составе Института, среди прочих имелся сектор ботаники, объединявший лаборатории физиологии растений, фитопатологии и группу флоры и геоботаники [1, 2, 3].

Основной задачей учреждения в первое десятилетие его существования (1931–1941 гг.) было становление и развитие в Беларуси биологических исследований широкого профиля, их координация, подготовка научных кадров. В эти годы при содействии и участии специалистов Ботанического института АН СССР были продолжены начатые еще в 1920-е годы исследования флоры сосудистых растений (О.С.Полянская), мохообразных (Л. И. Савич-Любицкая), грибов и миксомицетов (Л.А. Лебедева, В. Ф. Купревич), лишайников (М. П. Томин), водорослей (О. Д. Акимова). Были заложены основы оригинальных исследований физиологии больного растения и почвенной микробиоты (С.А.Самцевич, В. Ф. Купревич, Л.А.Езубчик), биологии древесных растений (Н. Д. Нестерович) [3].

С началом Великой Отечественной войны деятельность Института прервалась. Ботанические исследования возобновились сразу же после освобождения Минска советскими войсками в 1944 году, однако не в Институте биологических наук, а в Ботаническом саду АН БССР.

В декабре 1947 года Президиум АН БССР принял постановление о возобновлении деятельности Института под названием Институт биологии. В структуре возрожденного Института были образованы отделы экспериментальной эволюции, зоологии, физиологии растений и ботанический сад. При этом из состава Ботанического сада АН БССР были переданы отдел геоботаники, лаборатории физиологии растений и гибридизации, а в 1948 году – и остальные научные подразделения: отделы флоры и гербария, дендрологии, помологии, декоративного растениеводства [1]. Перешли на работу в Институт и основные научные кадры ботаников: М. П. Томин, Н. Д. Нестерович, Т. М. Годнев, С. Д. Георгиевский, А. И. Красник, Н. И. Чекалинская и др.

Отличия современных направлений исследований и структуры Института от Института биологических наук в значительной мере обусловлены тем, что ряд крупных научных направлений по мере их становления стали базой для образования самостоятельных научных учреждений: Центрального ботанического сада (1956 г.); Лаборатории биофизики и изотопов (1957 г.), реорганизованной в 1973 г. в Институт фотобиологии (ныне Институт биофизики и клеточной инженерии); Отдела зооло-

гии и паразитологии (1958 г.), преобразованного в 1980 г. в Институт зоологии, а затем – в Научно-практический центр по биоресурсам (2007 г.); Отдела генетики и цитологии (1963 г.), с 1970 г. – одноименный институт; Отдела микробиологии (1966 г.), на основе которого в 1975 г. создан Институт микробиологии [1].

По этим причинам в 1950–1970 гг. менялось и название Института: 1948–1963 гг. – Институт биологии АН БССР, 1963–1966 гг. – Институт экспериментальной ботаники и микробиологии АН БССР, 1966–1972 гг. – Институт экспериментальной ботаники АН БССР. В 1972 г. Институту присвоено имя академика В. Ф. Купревича [1].

Десятилетия послевоенного восстановления и «советский» период в развитии Института стали временем становления и расцвета белорусской ботанической науки прежде всего в её фундаментальных аспектах. К своему 50-летию в 1981 году Институт подошел с численностью в 340 человек, в т. ч. 190 научных сотрудников. Сформировались новые и получили развитие существовавшие научные направления. Были выполнены крупные фундаментальные исследования в области ботаники, физиологии и биохимии растений, развернута работа по научному обеспечению природоохранной деятельности, сельского и лесного хозяйства, зеленого строительства.

В 1950 году начал издаваться сборник научных трудов Института, впоследствии преобразованный в международное периодическое научное издание «Ботаника (исследования)», пятьдесят выпусков которого к настоящему времени уже вышли в свет.



Сборник научных трудов «Ботаника (исследования)» за 70 лет его издания

При помощи и содействии специалистов Ботанического института АН СССР впервые в истории белорусской науки была осуществлена полноценная инвентаризация флоры сосудистых растений, результаты которой были изложены в пятитомном фундаментальном издании «Флора Белорусской ССР» (1949, 1949а, 1950, 1955, 1959) под общей редакцией академиков М. П. Томина и Н.А.Дорожкина. Описаны хорологические особенности флоры страны (Козловская, Парфенов, 1972), динамика флоры Белорусского Полесья в связи с его масштабным осушением (Михайловская, 1953; Парфенов, Ким, Рыковский, 1985), проведено широкое изучение хромосомных чисел цветковых растений и их аномалий (Дмитриева, 1991), разработана концепция природно-миграционных русел формирования флоры (Парфенов, Вынаев, Рыковский). Под редакцией академика М. П. Томина, члена-корреспондента АН СССР Б. К. Шишкина и доктора биологических наук М. Н. Гончарика был издан первый «Определитель растений Белоруссии» (1967) [2, 3].

Обширные исследования морфологии, анатомии, цветения и плодоношения, экологических свойств аборигенных и интродуцированных древесных растений и их обобщение в цикле монографических изданий авторским коллективом во главе с академиком Н. Д. Нестеровичем (доктор биологических наук А. Ф. Иванов, кандидаты наук Л. В. Кравченко, А. А. Новикова, Т. Ф. Дерюгина, Л. И. Рахтеенко, Ю. Д. Сироткин, научный сотрудник Н. И. Чекалинская) были отмечены Государственной премией БССР в области науки и техники (1976) [4, 5].



Коллектив лаборатории биологии древесных растений –
победитель социалистического соревнования 1977 г.
(в первом ряду в центре – академик Н. Д. Нестерович)

На передовом для того времени уровне было изучено влияние света на древесные растения (Нестерович, Маргайлик, 1969), их зимо- и морозостойкость (Смирнова, 1968), отношение деревьев и кустарников к кислотности почв (Иванов, 1970) и почвенной влажности (Нестерович, Дерюгина, 1972), анатомия, морфология и посевные качества их плодов и семян (Нестерович, Чекалинская, Сироткин, 1967); были исследованы сезонный рост древесных пород (Дерюгина, 1984), рост и развитие почек древесных растений (Новикова, 1970), обобщены результаты интродукции древесных растений на территории Беларуси (Нестерович с сотр., 1959–1961) [4, 5].

В 1950-е годы по инициативе академика В. Ф. Купревича были начаты исследования ферментативной активности, а впоследствии – процессов трансформации органического вещества почв в природных биогеоценозах и агрофитоценозах. Дана сравнительная характеристика ферментативной активности основных типов почв БССР, охарактеризован состав свободных аминокислот и их количественных соотношений в зависимости от типовых особенностей почв (Т. А. Щербакова, А. Н. Гаврилова, Н. И. Савченко, Н. А. Шимко и др.). Показана активная роль гуминовых кислот в стабилизации почвенных ферментов (Т. А. Щербакова, А. А. Масько, Н. А. Галушко) [2, 5].

Изучено воздействие осушения и выработки торфяников на ферментативную активность и процессы трансформации органического вещества торфа, в том числе в связи с особенностями технологии выработки (Т. А. Щербакова, Г. Я. Коробова, Л. А. Володина, Н. А. Шимко, С. Н. Ивлева). Впервые изучена сезонная и годичная динамика ферментативной активности ряда лесных почв, выявлен характер её зависимости от продуктивности сосновых фитоценозов (Т. А. Щербакова, С. Н. Ивлева, А. И. Капитула, Н. И. Савченко, А. Л. Ефремов) [4, 5].

Изучен характер воздействия ряда гербицидов, вносимых под картофель, ячмень и люпин, на ферментативную активность почв (Л. А. Потоцкая). Выявлены особенности поглощения основных макро- и микроэлементов растениями картофеля и многолетних трав на маломощных осушенных торфяниках при разных уровнях минерального питания (М. А. Бардышев и др.).

По инициативе академика В. Ф. Купревича были выполнены детальные исследования базидиальных грибов: дереворазрушающих ксилобионтов, подстилочных сапротрофов, съедобных и ядовитых грибов (Н. А. Дорожкин, Г. И. Сержанина, Э. П. Комарова и др.), описан комплекс ржавчинных грибов семейства Melampsoraceae (Купревич, Траншель, 1957). Показано, что ржавчинная инфекция нарушает энергетический баланс пораженного растения, тогда как интенсивность синтеза АТФ не меняется или резко возрастает (В. Ф. Купревич, З. Я. Серова, Л. Н. Реуцкая). Установлены отличия в протекании патогенеза биотрофов и некротрофов, выявлены их причины и на этой основе дана оценка возникновения различных форм паразитизма с точки зрения эволюции реакции на проникновение фитопатогенов и их роли в дифференциальном симптоматогенезе (З. Я. Серова, Г. И. Спиридонова, Г.-М.-Подчуфарова, Д. К. Гесь, Л. Н. Реуцкая).

Выявлены видовой состав, биологические особенности, патогенность микромицетов и бактерий, вызывающих заболевания картофеля, зерновых злаков (Дорожкин, 1955; Дорожкин, Бельская, 1979), бобовых (Дорожкин, Чекалинская, Нитиевская, 1978) [2, 5].



Коллектив лаборатории низших растений, 1980-е годы
(в нижнем ряду в центре – академик Н. А. Дорожкин)

Описаны эколого-географические особенности структуры растительного покрова Беларуси (Юркевич, Гельтман, 1965; Гельтман, 1982), типологическая структура, структура и продуктивность лесов основных формаций Беларуси: сосняков (Юркевич, Ярошевич, 1974; Юркевич, Ловчий, 1984), ельников (Юркевич, Голод, Парфенов, 1971), сероольшаников (Юркевич, Гельтман, Парфенов, 1963), черноольшаников (Юркевич, Ловчий, 1968), ясенников (Юркевич, Адерихо, 1973), липняков (Юркевич, Адерихо, Дольский, 1988), пушистоберезняков (Юркевич, Петров), пойменных дубрав (Юркевич, Сидорович, 1965), грабняков (Юркевич, Тютюнов, 1985), охарактеризованы структура и продуктивность пойменных лугов (Юркевич, Буртыс, Бусько, 1981; Степанович, 1987). В целях ведения лесного хозяйства на научно обоснованной формационно-типологической основе разработана полноценная лесная типология и лесотипологические таблицы для использования в практике лесоустройства (Юркевич с сотр., 1969). За комплекс этих исследований, в интегрированной форме отраженных в первых картах растительности Белорусской ССР и монографическом обзоре «Растительный покров Белоруссии» (1969) в 1972 году группа геоботаников (академик И. Д. Юркевич, доктор биологических наук Л. П. Смоляк, кандидаты наук В. С. Гельтман, Д. С. Голод, В. И. Парфенов, Н. А. Буртыс, Е. А. Круганова, В. С. Адерихо, П. Я. Пе-

тровский) была удостоена Государственной премии Белорусской ССР в области науки и техники [2–5].

Впервые дана оценка распространения бластомогенов в лесных биогеоценозах Беларуси (Юркевич, Голод, Петручук, 1987). Выявлены особенности трансформации лесных экосистем под влиянием интенсивного рекреационного воздействия на примере Нарочанского региона (Юркевич, Голод, Красовский, 1989), мелиорации (Смоляк, 1969; Гельтман, Моисеенко, 1990). Реализован широкий комплекс исследований фенологических процессов в лесных экосистемах (Юркевич, Голод, 1966; Ярошевич, Тютюнов, Козло и др., 1986), а также у древесных растений в условиях интродукции (Лучков, 1986; Пугачевский, 1992) [5].

На основе обширных экологических исследований лесных экосистем были описаны особенности формирования прироста лесов в связи с динамикой климатических условий, подтоплением и затоплением (Русаленко, 1983, 1986, 1989; Самцов, 1991), особенностями водного режима биогеоценозов отдельных лесных формаций (Смоляк, Петров, 1978; Петров, Бережная, Качановский, Короткевич, 1988; Реуцкий, 1969; 1989) [5].

Реализован уникальный комплекс исследования структуры, функционирования и роли корневых систем растений в лесных экосистемах и агроценозах, процессов их роста и развития в различных почвенно-грунтовых условиях. Исследованы процессы взаимоотношения древесных пород в лесах различной типологической принадлежности (Рахтеенко, 1963; Рахтеенко, Якушев,1967), взаимоотношения древесных растений и растений живого напочвенного покрова (Якушев, Ермакова, 1978). Обоснованы принципы совместимости видов древесных растений в смешанных посадках, отличающихся большей продуктивностью по сравнению с чистыми культурами, разработаны и внедрены в лесоводственную практику рекомендации по созданию смешанных лесных культур различного породного состава и структуры (Рахтеенко, Якушев, Мартинович, 1982).

Выяснены новые положения в области физиолого-биохимического взаимовлияния растений в сообществах. С использованием методов изотопной диагностики изучены сезонные циклы поглощения и выделения корнями растений минеральных питательных веществ и передача их от одного растения к другому в посадках древесных пород (И. Н. Рахтеенко, Б. И. Якушев, Б. С. Мартинович, Л. А. Крот, Г. И. Кабашникова, О. О. Ермакова, Т. Н. Болотских, А. П. Казей) и смешанных бобово-злаковых посевах и травосмесях пряно-ароматических культур (И. А. Кауров, И. Ф. Минько, Т. А. Будкевич, С. Ф. Забелендик). Исследован биохимический состав корневых метаболитов у ряда видов бобовых и злаковых растений и показана их роль во взаимовлиянии через ризосферу на процессы фотосинтеза, дыхания, водно-минерального питания компонентов ценоза (Минько, Будкевич, Кауров, 1983). Разработаны и защищены авторскими свидетельствами и патентами на изобретения инновационные методы изучения жизнедеятельности растений в фитоценозе, определения функциональной активности их корневых систем (И. Н. Рахтеенко, А. Д. Майснер, Б. И. Якушев) [4, 5].

В области физиологии и биохимии растений был выполнен комплекс исследований структуры молекул и последовательности процессов биосинтеза хлорофилла, внесшие существенный вклад в мировую науку. За монографию «Хлорофилл. Его строение и образование в растении» (1963) Т. Н. Годнев был удостоен премии имени К. А. Тимирязева (1967). В развитие обоснованных гипотез о структурной организации биосинтеза хлорофилла, биогенеза структуры фотосинтетического аппарата и о молекулярных механизмах его адаптации к световому, углекислотному и температурному факторам были разработаны математические модели фотосинтеза (В. Л. Калер, Л. Е. Фридлянд). Под руководством члена-корреспондента М. Н. Гончарика проведены исследования фотосинтетической продуктивности растений, сформулированы принципы её оптимизации, связи со структурой и состоянием листьев, строением хлоропластов (В. М. Гончарик, Л. П. Лагун, В. М. Терентьев, М. И. Маршакова). Показана негативная роль ионов хлора в физиологических и биохимических процессах у растений, обоснована необходимость производства бесхлорных калийных удобрений (Гончарик, 1968). Многолетние исследования воздействия на растения хлорзамещающих калийных удобрений доказали необходимость применения бесхлорных удобрений для картофеля, льна, гречихи, что дало большой экономический эффект [2–5].

Выявлены закономерности и механизмы воздействия водного режима ассимиляционной ткани на фотосинтез и на этой основе предложен метод повышения устойчивости посевов к засухам (В. М. Иванченко, Б. И. Легенченко, М. И. Маршакова, Т. А. Урбанович).

На основе изучения клеточных мембран растений, их проводимости и функций установлены особенности дифференциальной биоэлектрической реакции клетки на воздействие многих химических агентов, что позволило разработать способы биотестирования активности ряда химических загрязнителей поверхностных вод (В. М. Юрин, А. И. Соколик, А. П. Кудряшов, Г. Д. Матусов, А. В. Плакс) [5].

Многолетние исследования закономерностей роста хлебных злаков на торфяных и минеральных почвах позволили вскрыть физиологическую сущность процесса полегания и разработать мероприятия по повышению вертикальной устойчивости растений, в том числе на осушенных торфяниках (В. М. Терентьев, Р. И. Царева, Р. М. Стасенко, Л. Г. Емельянов).

Совместно с Институтом общей и неорганической химии АН БССР разработаны новые виды высококонцентрированных удобрений для льна-долгунца (В. М. Терентьев, Л. Л. Кошелева). Разработан опытный образец установки по конвейерному выращиванию зеленных и декоративных растений на искусственных ионитных субстратах (В. М. Терентьев, Н. Б. Головнева, Д. В. Федюнькин) [4, 5]. За работы по выращиванию растений на ионитных почвах В. М. Терентьеву и Д. В. Федюнькину присуждена Государственная премия Белорусской ССР в области науки и техники 1980 года.

Установлено, что механизм адаптации растений к условиям увлажнения включает в себя перестройку фотохимических реакций фотосинтеза. Изучен характер регуляции температуры внутренних структур листа,

показано, что изменения температуры листа при возникновении водного дефицита являются важным диагностическим параметром состояния растения (В. Г. Реуцкий, Ж. И. Козлова, П. А. Родионов).



Ведущие ученые-ботаники: (слева направо) академик Н. А. Дорожкин, директор Института экспериментальной ботаники АН БССР доктор биологических наук В. И. Парфенов, академики И. Д. Юркевич и Н. Д. Нестерович. 1978 г.

Исследования вопросов химической регуляции роста и развития растений позволили установить, что специфичность действия 2,4-Д, трихлорацетата и далапона проявляется в изменении процессов дыхания, угнетения активности и нарушения деятельности ряда ферментных систем, прежде всего связанных с этерификацией неорганического фосфора, нуклеинового и азотного обмена. Симазин, атразин и фенозон угнетают процессы фотосинтеза. Установлено, что действие ретардантов связано в основном с изменением структурного состояния хлоропластов и синтеза пигментов, а также с взаимодействием эндогенных регуляторов роста (В. П. Деева, А. П. Волынец, В. А. Войнило, З. И. Шелег, Л. М. Мельникова) [4, 5].

На основе изучения механизмов воздействия синтетических и природных регуляторов роста разработаны рекомендации по применению гербицидов в посевах различных сельскохозяйственных культур (С. М. Маштаков, В. П. Деева, А. П. Волынец).

Обоснованы новые представления о фенольных соединениях как о эндогенных регуляторах роста особого типа, отличающихся высокой

избирательностью. Доказано, что снижение всхожести семян льна-долгунца, ячменя и люпина связано с гормональной недостаточностью, а не с активностью ингибиторов роста (А. П. Волынец, Н. А. Ламан, Р. А. Прохорчик).

Под руководством д.б.н. А.В. Мироненко изучены межвидовые и межсортовые особенности ряда сельскохозяйственных растений по количественному и качественному составу белков, аминокислот и алкалоидов, воздействию ряда факторов на их биосинтез, продуктивность и качество урожая. Проведенные совместно с БелНИИ земледелия исследования воздействия гербицидов и ретардантов на динамику белков люпина, пшеницы и тритикале показали, что разные дозы и сочетания гербицидов по-разному воздействуют на выход клейковины и общих белков, в том числе на соотношение слагающих её компонентов – глютенина и глиадина. Выявлена зависимость алкалоидности семян люпина от условий его выращивания. В связи с возможной ролью белков-ингибиторов протеиназ в защите растений от вредителей и болезней, их устойчивости к грибной и вирусной инфекции изучена активность этой категории белков во многих сортах люпина, картофеля, люцерны. Показано, что при утрате семенами жизнеспособности в результате теплового стресса или ненадлежащих условий хранения происходят существенные конформационные изменения структурных белков (липопротеидов), активности ряда ферментов, структуры и биологической активности клеточных мембран (А. В. Мироненко, А. И. Заболотный, В. И. Домаш, С. Ф. Шухрай, И. В. Рогульченко) [4, 5].

Под руководством академика А. С. Вечера впервые в науке были выполнены сравнительные биохимические исследования различных типов пластид. Было экспериментально доказано наличие в пластидах специфической ДНК, что свидетельствует о способности пластид к биосинтезу специфических белков и наличии нехромосомной наследственности. На основе данных о локализации каротиноидов в хромопластах – пластидах корнеплодов моркови был разработан метод получения из них пластидных материалов, что сделало возможным извлечение из них каротина – провитамина А в промышленных масштабах (А. С. Вечер).

Результаты, полученные в области биосинтеза рибофлавина, послужили основанием для организации Пинского биохимического завода, на котором было освоено производство витамина В2. Кроме того была разработана технология получения каротиновых концентратов для витаминизации сливочного масла, сыров, маргарина и т.п. [3, 4, 5].

Были проведены крупные исследования в области биохимии картофеля. В сортовом аспекте электрофоретическими и хроматографическими методами были изучены азотсодержащие вещества клубней картофеля и показана сортоспецифичная гетерогенность белков картофеля (В. М. Решетников, В. К. Василькевич), выявлены особенности состава клеточного сока картофеля различных сортов (М. М. Масный), содержания в нем веществ фенольной природы (Н. А. Якимович). Разработаны новые методы хранения картофеля, основанные на химических ингибиторах прорастания клубней.

Практическим продолжением исследований по биохимии картофеля стала разработка промышленной технологии его переработки путем

механического обезвоживания для производства кормовых продуктов (А. С. Вечер, И. И. Паромчик и др.) [3, 4, 5].

Выполнены исследования нуклеиновых кислот и белков в семенах люпина при их созревании и прорастании (А. С. Вечер, И. В. Матошко, А. П. Булко и др.), в результате которых выявлены закономерности и особенности биосинтеза этих соединений в семенах.



Сотрудники лаборатории биохимии и молекулярной биологии
в год 70-летия академика А. С. Вечера (в первом ряду в центре). 1975 г.

Теоретические исследования конца 1950-х – начала 1970-х гг. дали основание для развития нового научного направления – молекулярной биологии растений. Наряду с изучением белков, нуклеиновых кислот и липидов субклеточных структур проведены исследования по взаимодействию органелл в растительной клетке с использованием в качестве объектов ди- и тетраплоидных растений. Выявлены особенности ядер и пластид при переводе растений на тетраплоидный уровень, а также изменения в биосинтетических системах растений (А. С. Вечер, В. Н. Решетников, В. К. Василькевич, А. П. Булко, М. М. Масный и др.) [4, 5].

В эти же годы в Институте получило развитие новое научное направление – энохимия, ставшее основой для разработки технологий получения натуральных яблочных соков и вин (А. С. Вечер, Л. А. Юрченко, Я. С. Романовец, С. И. Василькевич и др.). На винзаводах БССР и РСФСР внедрялась технология производства сухих яблочных виноматериалов и вин на их основе, что позволило освоить ассортимент новых улучшенных яблочных вин [3, 4, 5].

Теоретические разработки В.Л.Калера стали предпосылкой для создания электрокоагуляционного метода очистки сточных вод с утилизацией ценных продуктов, внедренного на предприятиях более чем 30-ти крупных городов страны [4].

В 1981 г. за большой вклад в развитие биологической науки, подготовку научных кадров и в связи с 50-летием со дня образования Указом Президиума Верховного Совета СССР Институт награжден орденом Трудового Красного Знамени.



ГРАМОТА

ПРЕЗИДИУМ ВЕРХОВНОГО СОВЕТА СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

за заслуги в развитии биологической науки и подготовке научных кадров Указом от 23 апреля 1981 года наградил Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Академии наук Белорусской ССР

ОРДЕНОМ ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ

Председатель Президиума Верховного Совета СССР

Секретарь Президиума Верховного Совета СССР

МОСКВА, КРЕМЛЬ, 23 апреля 1981 г.

В начальный период независимого развития Республики Беларусь в 1991–1999 гг. в работе Института наметились негативные тенденции, обусловленные замедлением обновления приборной и экспериментальной базы, сокращением бюджетного финансирования, уходом из жизни ряда ведущих ученых старшего поколения и т. д. Тем не менее Институт по-прежнему оставался одним из лидеров биологической науки в Беларуси.

Было продолжено изучение флоры и дана оценка её динамики (академик В. И. Парфенов и сотр.), исследование биологических свойств и закономерностей распространения грибов и лишайников, биологии возбудителей болезней картофеля, состава патогенной микрофлоры бобовых и других видов растений (С. И. Бельская, О. С. Гапиенко и сотр.), состава почвенных ферментов, изменения их активности под влиянием факторов среды и их роли в превращении органического вещества почвы (Н. Ф. Ловчий, А. Л. Ефремов и сотр.), продолжено изучение эколого-биологических особенностей древесных растений в зависимости от основных абиотических факторов (Л. И. Рахтеенко, В. В. Савельев, А. И. Лучков и др.) [4, 5].

Проведена инвентаризация и дана оценка ресурсов древесины карельской березы в лесном фонде страны, разработана нормативно-тех-

ническая база для её эксплуатации, даны рекомендации по устойчивому использованию и воспроизводству этой уникальной высокоценной древесной породы (А. В. Пугачевский, А. А. Моложавский, Л. И. Рахтеенко, А. В. Судник и др.) [5, 6].

В области физиологии и биохимии растений выявленыструктурные изменения при формировании хлоропластов и их влияние на процесс фотосинтеза (В. М. Иванченко, М. И. Маршакова, Т. А. Урбанович, Л. А. Обуховская и др.), изучены биохимический состав, свойства и функциональная активность пластид и клеточных ядер растений (А. С. Вечер, В. Н. Решетников, О. К. Лаптева и др.), раскрыт ряд особенностей физиологии и биохимии люпина (А. В. Мироненко, А. И. Заболотный, В. И. Домаш и сотр.), выявлены физиолого-биохимические особенности действия гербицидов и регуляторов роста на сельскохозяйственные растения (В. П. Деева, З. И. Шелег, И. В. Павлова и др.), изучена структурно-функциональная организация хлебных злаков в связи с их устойчивостью и реализацией биологического потенциала, установлены особенности взаимоотношений растений в смешанных ценозах (Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров и сотр.) [4, 5].

Специалисты Института в числе первых в стране развернули планомерные исследования особенностей загрязнения природно-растительных комплексов аварийными радиоактивными выбросами Чернобыльской АЭС, круговорота радионуклидов в природных биогеоценозах, их влияния на физиолого-биохимические процессы в растениях. Итоги этих исследований обобщены в широко известной монографии «Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси», изданной под редакцией В. И. Парфенова и Б. И. Якушева (1995 г.) [4, 5].

Результаты, полученные в эти годы, широко использовались в народном хозяйстве страны и природоохранной деятельности. В частности, при разработке Национальной стратегии и плана действий по сохранению и устойчивому использованию биологического разнообразия (В. И. Парфенов, Д. С. Голод и сотр.), Стратегического плана развития лесного хозяйства (Е. Г. Петров, А. В. Пугачевский и сотр.), проекта Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС) (А. В. Пугачевский, И. М. Степанович), научных обоснований создания ряда заказников республиканского значения и сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в целом (В. И. Парфенов, Д. С. Голод, А. В. Пугачевский и сотр.) [5, 6]. Работа по развитию сети ООПТ продолжается и в настоящее время.

Реализована широкая программа изучения растительности, подверженной интенсивному техногенному и рекреационному воздействию, разработан комплекс мероприятий по повышению устойчивости лесов в зонах воздействия Новополоцкого нефтепромышленного комплекса и Минской городской агломерации (Е. Г. Петров, А. И. Лучков, А. В. Пугачевский, А. А. Моложавский и сотр.), Солигорского горно-промышленного района (Д. С. Голод, Н. И. Петручук, И. Ф. Моисеенко и др.) [5, 6].

В области физиологии и биохимии были разработаны регламенты возделывания ряда важных для экономики сельскохозяйственных культур,

морфофизиологические и биохимические методы первичного скрининга селекционного материала на продуктивность и качество продукции (Н. А. Ламан и сотр.) [5, 6].

В первое десятилетие 2000-х деятельность Института, как и всей белорусской науки, проходила в сложных условиях реформирования, поиска новых форм работы, перехода от фундаментальной науки к фундаментально ориентированной и прикладной, оптимизации системы управления наукой, изменений в объемах и источниках её финансирования.

На встрече Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко 22 января 2002 г. с научной общественностью были рассмотрены важнейшие вопросы совершенствования государственного управления в сфере науки, реформирования деятельности Национальной академии наук, кадровой политики. Основной вывод этой встречи – наука должна обосновать реальную основу экономического, социального и духовного развития Беларуси, обеспечить научную базу для развития народно-хозяйственного комплекса республики. Это был принципиально новый подход. Был также провозглашен тезис о постепенной трансформации Академии в научно-производственную корпорацию, производящую не только новые знания, но и значительные объемы продукции, главным образом инновационного характера. Взят курс на постепенное сокращение доли прямого бюджетного финансирования научной деятельности.

Процесс реформирования не прошел мимо Института. В 2007 г. во исполнение Указа Президента Республики Беларусь от 01.11.2007 г. № 554 ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф.Купревича НАН Беларуси» на правах самостоятельного юридического лица вошел в состав ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам», головная организация которого образована на базе ГНУ «Институт зоологии НАН Беларуси».

В результате научно-исследовательский процесс стал более прагматичным, ориентированным на потребности экономики, жестко зависимым от целевого финансирования, а также от управленческих способностей руководителей организаций и структурных подразделений. Возросла производительность исследовательского процесса, обусловленная широким использованием вычислительной техники, новых методов, повышением ответственности исследователей и руководителей. При этом, однако, не обошлось без потерь: сократилась численность работников (со 189 в 2001 г. до 130 в 2011 г.), были свернуты или существенно сокращены работы по ряду направлений (почвенная энзимология, исследования в области фотосинтеза, химической регуляции роста и развития растений).

Преобразования были сопряжены с немалыми трудностями объективного и субъективного характера, которые, тем не менее, были преодолены. В 2001–2010 гг. Институт участвовал в выполнении более 300 проектов и заданий ряда государственных программ. Работы, выполняемые Институтом, соответствовали перечням приоритетных направлений научно-технической деятельности и фундаментальных научных исследований в Республике Беларусь. В этот период развитие получили направления

исследований и разработок, направленные на удовлетворение потребностей экономики и связанные с новыми вызовами в природе и обществе, развитием новых и высоких технологий:

– ботаническое ресурсоведение, научное обеспечение ведения государственного кадастра растительного мира;

– изучение реакции растительного покрова на изменение климата, научное обоснование адаптации лесного и сельского хозяйства к прогнозируемому изменению климата, дендроклиматохронология;

– разработка научных основ биологизации и экологизации сельского и лесного хозяйства с целью сохранения биологического разнообразия, защитных и средообразующих функций природного растительного покрова;

– оценка вредоносности, темпов распространения и картографирование мест произрастания чужеродных инвазивных видов растений, разработка мер борьбы с ними;

– развитие технологий картографирования растительности, оценки и прогнозирования состояния растительного покрова с использованием ГИС-технологий и материалов дистанционного зондирования Земли;

– создание искусственных субстратов и сред, разработка технологий размножения и культивирования растений в тепличных хозяйствах.

Тематика и программы исследований в 2001–2010 гг. отличаются актуальностью, развивают традиционные для Института направления и нацелены на решение важнейших народнохозяйственных проблем, удовлетворение потребностей отраслей экономики и природоохранной деятельности. Институт в рамках своей компетенции в полной мере осуществлял научно-техническое обеспечение деятельности профильных министерств и других государственных органов (Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерства лесного хозяйства, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, Управления делами Президента Республики Беларусь, Минского городского, областных и районных исполнительных комитетов и т.д.).

В этот период Институт является головной организацией по Государственным программам ориентированных фундаментальных исследований (ГПОФИ) «Биологическое разнообразие» (2001–2005 гг.), «Ресурсы растительного и животного мира» (2006–2010 гг.), головной организацией НАН Беларуси по государственным программам, обеспечивающим функционирование и развитие НСМОС в Республике Беларусь (2001–2005, 2006–2010 гг.), осуществляет научное обеспечение государственного регулирования в области обращения с объектами растительного мира, возложенное на НАН Беларуси Законом Республики Беларусь «О растительном мире» (2003 г.).

Коллекционные фонды гербария белорусской и мировой флоры Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 11.06.2002 г. № 758 объявлены научным объектом, составляющим национальное достояние, и включены в Государственный реестр научных объектов, которые

составляют национальное достояние, под реестровым номером 4 (уведомление от 24.06.2002 г. № 12/31-1239). На 01.01.2021 г. фонды коллекций Гербария насчитывают 384 893 образца. С использованием коллекций Гербария подготовлен ряд экспертных заключений для министерств внутренних дел, здравоохранения, природных ресурсов и охраны окружающей среды, лесного хозяйства, отдельных организаций и граждан. В Гербарии регулярно работают ученые из других учреждений и стран. Коллекции Гербария стали базой для оценки динамики разнообразия растительного мира в XX–XXI столетиях и фактографической основой для подготовки многотомного фундаментального издания «Флора Беларуси». За период 2004–2019 гг. увидели свет первые тома, посвященные мохообразным (2009) и сосудистым растениям (2013; 2017).

С 2010 года при Институте действует Республиканский научно-методический совет по координации деятельности гербариев, созданный с целью обеспечения максимальной эффективной деятельности всех гербариев, функционирующих при государственных учреждениях Беларуси, а также находящихся в собственности физических лиц и включенных в государственный реестр ботанических коллекций. В рамках деятельности совета обеспечивается научно-методическое и консультационное сопровождение развития гербарного дела в Республике Беларусь.

В первые десятилетия нового века были подготовлены 3-е (2006 г.) и 4-е (2015 г.) издания Красной книги Республики Беларусь, основанные на критериях Международного союза охраны природы; составлены перечни редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений, являющиеся официальными документами для информирования и активизации усилий по охране природы. В соответствии с постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 09.06.2014 г. № 26 в Красную книгу Республики Беларусь включено 303 вида дикорастущих растений: 189 видов сосудистых, 34 – мохообразных, 21 – водорослей, 25 – лишайников, 34 – грибов. В подготовке 4-го издания Красной книги приняли участие академик В. И. Парфенов, О. С. Гапиенко, А. В. Пугачевский, Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович, Д. Б. Беломесяцева, А. П. Яцына, С. С. Савчук, Г. Ф. Рыковский, Т. Г. Шабашова и др. При участии специалистов Института разработан ТКП 17.05-01-2014 «Правила охраны дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь, и мест их произрастания» (И. П. Вознячук и др.).

В соответствии с Законом «О растительном мире» и постановлением Правительства от 13.12.2004 г. № 1580 «Об утверждении Положения о порядке ведения государственного кадастра растительного мира» специалистами Института, начиная с 2006 г., обеспечивается ведение кадастра растительного мира. Наличие в Институте крупнейшего в стране собрания дикорастущих растений, наиболее полных материалов по видовому составу и структуре растительности, её ресурсах, сведений о закономерностях её географического размещения и экологической приуроченности, наличие результатов мониторинга позволяет создавать и поддержи-

вать государственный кадастр растительного мира в форме баз данных о состоянии растительных ресурсов, разрабатывать законодательную и нормативную техническую основу их устойчивого использования, сохранения и воспроизводства. Специалистами Института обследована территория страны и создан государственный кадастр растительного мира всех ее районов. Кадастровая информация передана для использования в районные инспекции природных ресурсов и охраны окружающей среды. Работа по развитию и актуализации кадастра ведется постоянно (О. М. Масловский и сотр.).

В лабораториях Института создана серия карт растительности страны и её отдельных регионов, растительных ресурсов и распространения ряда видов растений, часть из которых вошла в Национальный атлас Республики Беларусь, изданный в 2002 г. (Д. С. Голод, В. И. Парфенов, О. М. Масловский и др.) [6, 7].

Исследования и научно-организационная деятельность Института создают научную основу для реализации крупных природоохранных и народнохозяйственных программ, во многом обеспечивают выполнение обязательств страны по ряду международных конвенций: Конвенции о биологическом разнообразии, Рамсарской конвенции по сохранению водно-болотных угодий, Бернской конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе, Конвенции по опустыниванию и деградации земель, Рамочной конвенции по изменению климата и др.

Исследования Института 1990–2000-х гг. в области решения территориальных проблем ботанико-экологического характера стали научной основой дальнейшего развития сети особо охраняемых природных территорий, среди которых более 70 новых или преобразованных заказников республиканского значения, 3 национальных парка, Полесский радиационно-экологический заповедник (В. И. Парфенов, Д. С. Голод, А. В. Пугачевский, Д. Г. Груммо, А. В. Пучило, Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович и др.) [6, 7].

Только в рамках заданий Государственных программ развития системы особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь на 2008–2014 гг. и на 2015–2019 гг. в порядке оптимизации системы ООПТ разработаны научные и технико-экономические обоснования создания либо преобразования 24 заказников республиканского значения («Жада», «Споры», «Белый мох», «Ольманские болота», «Выгонощанское», «Докудовский», «Гайна-Бродня» и др.), 67 – местного значения («Жлобинский», «Калиновка», «Пойма Птичи», «Мох Озерский», «Булев Мох», «Габы» и др.) (Д. Г. Груммо и сотр.), подготовлены паспорта и охранные свидетельства на 44 памятника природы местного значения (А.В.Судник, И. П. Вознячук и сотр).

На основе разработанных научных обоснований 7 водно-болотных угодий («Пойма реки Днепр», заказники «Козьянский», «Острова-Дулебы», «Заозерье», «Старый Жаден», «Выдрица», национальный парк «Припятский») включены Секретариатом Рамсарской конвенции во Всемирный список водно-болотных угодий международного значения (Д. Г. Груммо и сотр.).

Выполнены детальные исследования структуры растительности и биотопов Национального парка «Беловежская пуща» (Д. Г. Груммо, М. В. Ермохин,

А. В. Пугачевский, А. В. Пучило), выполнен комплекс исследований высоковозрастных лесов национальных парков и Березинского биосферного заповедника (М. В. Ермохин, А. В. Пугачевский, С. А. Углянец, Т. Л. Барсукова), охарактеризована посткатастрофическая динамика нарушенных ураганами лесов Беловежской пущи (А. В. Пугачевский, Т. Л. Барсукова, С. А. Углянец).

Работы, выполненные Институтом в рамках пилотного проекта «Устойчивое экологически ориентированное лесоуправление и лесопользование на примере Сморгонского опытного лесхоза» совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Комитетом лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь, позволили создать модель ведения экологически ориентированного лесного хозяйства, обеспечивающего сохранение основных компонентов биологического и ландшафтного разнообразия без существенного ограничения лесопользования (А. В. Пугачевский, А. В. Судник, И. Н. Вершицкая). Реализация этой модели дала возможность Сморгонскому лесхозу первому в стране пройти процедуры лесной сертификации по наиболее жёсткой международной системе Лесного попечительского совета (FSC) [6, 7].

В эти же годы были разработаны комплекс мероприятий и Стратегия адаптации лесного хозяйства Беларуси к изменению климата до 2050 г., получившие одобрение Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь и реализуемые в опытно-производственном порядке (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин и сотр.) [6].

Обобщение материалов по массовому усыханию еловых лесов, установлению факторов и механизмов, определяющих гибель ели, позволили разработать меры по повышению устойчивости еловых лесов в условиях меняющегося климата, разработать прогноз усыхания ельников (В. В. Сарнацкий).

На основе проведенных эколого-физиологических исследований состояния лесных культур и древесных насаждений на территориях, примыкающих к автомагистралям (подпрограмма ГПНИ «Биоразнообразие, биоресурсы и экотехнологии», 2011–2015 гг.), разработан и успешно апробирован на опытных объектах Молодечненского лесхоза агрохимический способ снижения токсического воздействия антигололедных реагентов на жизнедеятельность древесных растений (Б. И. Якушев, М. М. Сак, Ж. М. Анисова и др.).

Многоплановые исследования в этот период проводились в Институте и в области физиологии и биохимии растений, биотехнологии.

В частности, разработан способ и созданы биотехнологические комплексы для круглогодичного производства оздоровленных миниклубней картофеля на основе ионитопонной технологии. Институт включен в Государственный реестр производителей семян с правом производства миниклубней первого поколения и реализации семенного материала картофеля высших репродукций (Т. Г. Янчевская и сотр.) [6, 7].

В рамках задания ГНТП «Промышленная биотехнология» был разработан и включен в реестр препаратов, разрешенных к применению, бакте-

риальный препарат «Миколин» для борьбы с болезнями картофеля и овощных культур, на момент создания – первый разработанный в республике бактериальный препарат (О. С. Гапиенко, Т. Г. Шабашова и сотр.) [6, 7].

Были начаты (совместно с РУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси») исследования по разработке технологии выращивания растениеводческой продукции в закрытом грунте с применением энергосберегающих отечественных светодиодных источников освещения (В. Г. Реуцкий и сотр.). В рамках инновационного проекта, финансируемого Минским городским исполнительным комитетом, на Минской овощной фабрике создан опытно-производственный участок, оснащенный системой светодиодной досветки растений. Специалистами Института разработан регламент работы светодиодного излучателя, позволяющий в 1,5–2 раза уменьшить расход энергии на единицу продукции при производстве овощей в условиях закрытого грунта. Рационально подобранный режим освещения позволяет не только сократить расходы энергии на 30–40 %, но и оптимизировать получение конечной продукции за счет увеличения урожайности на 20–30 % (О. В. Молчан, Л. В. Обуховская и сотр.) [6, 7].

Получили развитие исследования физиолого-биохимических основ устойчивости семян растений к абиотическим факторам: установлена роль протеиназно-ингибиторной системы и лектинов в процессе адаптации растений к неблагоприятным факторам среды, показано, что протеиназно-ингибиторная система и лектины принимают участие в метаболизме бобовых и злаковых культур при воздействии ионов хлора, меди, алюминия, высоких температур и пр. Действие стресс-факторов индуцирует экспрессию генов, кодирующих синтез белков-ингибиторов протеиназ и лектинов (В. И. Домаш, О. Л. Канделинская и сотр.). Практическим результатом исследований стали разработка, а также выпуск опытной партии (совместно с Институтом физико-органической химии НАН Беларуси и Центральным ботаническим садом НАН Беларуси) экологически безопасных стимулятора роста растений «Тубелак» и средства защиты растений «Туберит», для производства которых использованы отходы крахмальной промышленности (В. И. Домаш и сотр.) [6, 7].

В 2011–2020 гг. Институт оставался головным учреждением НАН Беларуси по Государственной программе обеспечения функционирования и развития НСМОС в Республике Беларусь. При этом осуществлялась координация работ между НСМОС в целом и подсистемой «Мониторинг растительного мира», впервые разработано и принято «Положение о порядке проведения комплексного мониторинга естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях». Дана оценка состояния лесных и защитных древесных насаждений вдоль автомобильных дорог, защитных насаждений на землях сельскохозяйственного назначения; получена информация о состоянии экосистем заказников республиканского значения «Днепро-Сожский», «Смычок», «Сорочанские озера» и др., выявлены угрозы их функционированию и сохранению биоразнообразия, дана оценка степени проявления этих угроз. Выполнена оценка состояния луговой и болотной растительности, популяций инвазивных и охраняемых

видов растений; разработаны прогнозы продуктивности и качества травостоев естественных кормовых угодий Беларуси (А. В. Судник, И. М. Степанович, О. М. Масловский, И. П. Вознячук и сотр.) [6, 7].

В рамках государственных программ научных исследований выполнен широкий комплекс работ по углубленному изучению природной флоры и растительности Беларуси. Впервые дана полная экологическая характеристика мохообразных как компонента сообществ подтаежных хвойных лесов. На основании анализа специфики организации мохообразных и свойств заселяемых ими субстратов впервые выдвинуто и научно обосновано представление об экологической трансформации в историческом аспекте характера произрастания этой группы растений от эпигеидного к эпифитному и соотношение во времени данного процесса у основных групп мохообразных-печеночников и мхов, изложенное в монографии Г. Ф. Рыковского «Происхождение и эволюция мохообразных» (2011 г.).



Фундаментальные и прикладные издания последних лет
в области исследований флоры и ресурсов растительного мира

Выполнен сравнительный анализ динамики состояния лесов в условиях заповедного режима (Березинский биосферный заповедник), интенсивного техногенного воздействия (санитарно-защитная зона Новополоцкого нефтепромышленного комплекса) и рекреационного пресса (г. Минск). Установлены особенности состояния и семеношения сосны, ели и березы в этих условиях (А. В. Пугачевский, А. В. Судник, Н. А. Короткевич и др.) [6, 7].

Разработана классификация рисков лесовыращивания по факторам, определяющим их возникновение, по силе воздействия и масштабам проявления, возможности их предотвращения и предсказания (прогнозирования), а также по вероятности реализации.

Созданы научные основы сохранения биоразнообразия на экосистемном уровне, которые изложены в специальном издании «Редкие биотопы Беларуси» и технических нормативных правовых актах. При этом разработаны

перечень и критерии выделения редких и типичных природных биотопов на территории Беларуси, требования к их охране, разработан и введен в действие регламентирующий их выделение и установление режимов охраны и использования технический кодекс установившейся практики (ТКП) 17.12-06-2014 «Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких природных ландшафтов» (новая редакция – ТКП 17.12-06-2021 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Растительный мир. Правила выявления типичных и (или) редких биотопов, типичных и (или) редких природных ландшафтов, оформления их паспортов и охранных обязательств» (утвержден постановлением Минприроды от 15.03.2021 № 3-Т; введен в действие 01.06.2021)). Подготовлены дополнения к проектам организации и ведения лесного хозяйства более 30 государственных лесохозяйственных учреждений с учетом мероприятий по охране редких и типичных биотопов, что является одним из важнейших критериев оценки устойчивого лесного хозяйства и лесопользования при сертификации лесхозов по стандарту FSC, обеспечивающей экспорт лесной продукции (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин, И. Н. Вершицкая и др.) [7].

При выполнении заданий ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование» на 2011–2015 гг.: подготовлен, издан и внедрен в лесхозах Беларуси интерактивный мультимедийный определитель для диагностики болезней лесообразующих пород (совместно с УО «Белорусский государственный технологический университет» и ГУ «Беллесозащита») (О. С. Гапиенко и сотр.), для выделения и типизации антропогенно-производных ассоциаций сосновых лесов впервые разработана их классификация, а также комплекс лесохозяйственных мероприятий по их рациональному использованию, повышению устойчивости и продуктивности (А. В. Пучило, Р. В. Цвирко).

В рамках Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 гг. проведена оценка воздействий техногенного и природного характера на растительный мир региона. Установлены основные особенности динамики флоры и растительности, вызванные хозяйственной деятельностью. Обоснованы типовые технологические решения по интенсификации использования ресурсов естественных лугов региона. Проведена оценка состояния популяций редких и исчезающих видов растений, ресурсов лекарственных и пищевых растений, дан анализ распространения и динамики популяций инвазивных растений. Разработана «Региональная стратегия природно-ресурсного обеспечения устойчивого развития Припятского Полесья на период до 2030 года» (в части ресурсов и разнообразия растительного мира) (А. В. Пугачевский, В. И. Парфенов, А. В. Пучило, О. М. Масловский и сотр.).

В рамках Государственной программы «Создать национальный банк генетических ресурсов растений для выведения новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, сохранения и обогащения культурной и природной флоры Беларуси» создана семенная коллекция генетических ресурсов аборигенных видов семейств Злаки и Бобовые, а также редких и охраняемых видов растений других семейств (более 400 образцов

164 видов). Изучена встречаемость хозяйственно полезных представителей флоры, опубликован «Каталог Национального генетического фонда хозяйственно полезных растений природной флоры Беларуси» (С. А. Дмитриева, С. С. Савчук и сотр.).

В результате выполнения заданий подпрограммы ГПНИ «Природно-ресурсный потенциал» (2011–2015 гг.) и ГНТП «Агрокомплекс – устойчивое развитие» (2014–2015) в луговых природных сообществах выявлены и интродуцированы в культуру дикорастущие популяции люцерны желтой корневищного морфотипа, на основе которых совместно с РНДУП «Полесский институт растениеводства» создан и внесен в Госреестр сортов кормовых растений (2020 г.) новый экологически устойчивый сорт люцерны изменчивой желтогибридной «Прыгажуня Палесся» для возделывания на дерново-подзолистых и мелиорированных почвах южных районов республики как засухо- и морозоустойчивая высокопродуктивная культура лугопастбищного назначения (Т. А. Будкевич, А. И. Заболотный).

В целях расширения внедрения в отрасль лесного хозяйства системы лесной сертификации FSC специалистами Института выделены леса высокой природоохранной ценности для всех лесохозяйственных учреждений страны (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин и сотр.). Это позволило снять замечания международных органов лесной сертификации по одному из проблемных направлений и тем самым открыть экологически ориентированные рынки Европы и Америки для экспорта лесных товаров из Беларуси .

С 2014 г. развернута сеть наблюдений и ведется мониторинг за состоянием, химическим и радиационным загрязнением растительности наземных и водных экосистем зоны потенциального воздействия Белорусской АЭС (А. В. Пучило и сотр.).

При выполнении задания ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» на 2011–2015 гг. впервые для Беларуси разработана оптимальная методика учета ресурсов растительного мира болот, включающая полную «технологическую цепочку» от получения космического снимка до создания ресурсных карт и ведомости стоимостной оценки ресурсов. Составлены крупномасштабные (М 1:25 000 – М 1:50 000) карты растительных ресурсов для ряда водно-болотных угодий (Березинского заповедника, заказников «Ельня», «Жада», «Дикое», «Званец» и др.). Разработан классификатор тематических задач ресурсоведения с использованием данных космической съемки среднего и высокого разрешения (А. В. Пучило, Д. Г. Груммо и сотр.).

При выполнении заданий Программы Союзного государства «Мониторинг-СГ» на 2013– 2017 гг. разработан алгоритм оценки объектов лесопользования, представляющий собой поэтапную схему идентификации сплошнолесосечных вырубок по мультивременным композитам, получаемым на основе мультиспектральной или радарной космической съемки, с последующим формированием векторного представления вырубок и оценкой их параметров. Составлен электронный каталог аэрокосмоэталонов болот на примере Березинского биосферного заповедника, созданы тематические карты растительности этой важнейшей ООПТ (А. В. Пучило, Д. Г. Груммо и др.).

В интересах агропромышленного комплекса совместно с Институтом физико-органической химии НАН Беларуси разработаны, испытаны и запущены в производство микроудобрения семейства «Нанoплант» на основе наночастиц Co, Mn, Cu, Fe и др. Препарат зарегистрирован ГУ «Главная Государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений» Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и рекомендован для применения на зерновых, зернобобовых и овощных культурах в промышленном масштабе, а также для розничной продажи. Реализация проводится как в Беларуси, так и за рубежом. С производителем препарата НТОО «АКТЕХ» заключен договор уступки прав на результаты НТД (2014–2023 гг.) (В. И. Домаш и сотр.) [7].

В рамках ГНТП «Промышленные биотехнологии» на 2011–2015 гг. разработаны технологии производства органоминеральных бактеризованных биогрунтов и биопрепаратов с ростостимулирующей и фитозащитной активностью. Проведены испытания эффективности почвогрунтов при производстве посадочного материала, в том числе полученного путем микроклонирования (Н. А. Ламан, Ж. Н. Калацкая и сотр.) [7].

Совместно с Институтом микробиологии НАН Беларуси разработан, зарегистрирован и рекомендован к применению биопестицид Карфил, полученный на основе бактерий штамма Bacillus subtilis 47, оценены его антимикробные, антивирусные свойства и способность стимулировать индуцированную устойчивость растений (Т. Г. Янчевская и сотр.) [7].

Организовано производство опытных партий ионообменного субстрата (торговые марки «Триона» и «Трионит») для оптимизации минерального питания растений (Т. Г. Янчевская и сотр.).

В 2016–2020 гг. Институт оставался головным учреждением НАН Беларуси по подпрограмме 5 «Обеспечение функционирования, развития и совершенствования Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2016–2020 гг., в настоящее время – по подпрограмме 5 «Национальная система мониторинга окружающей среды» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 гг.

В 2016–2020 гг. получен ряд существенных результатов прикладного характера.

Разработаны теоретические основы и методология мониторинга биоразнообразия с использованием данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и ГИС-технологий, а также оригинальная технология применения ДДЗ для изучения растительного покрова. На её основе составлены крупномасштабные карты растительности крупнейших объектов природно-заповедного фонда Беларуси (в т. ч. национальные парки «Беловежская пуща», «Нарочанский», «Припятский», «Браславские озера», Березинский биосферный заповедник), 30-тикилометровой зона вокруг БелАЭС, других территорий. Общая площадь, для которой составлены геоботанические карты, составляет 45,4 % территории Беларуси.

Эти результаты нашли широкое практическое применение при разработке научных и технико-экономических обоснований, режимов охраны

и использования более 40 ООПТ, подготовке научных обоснований включения объектов национального природно-заповедного фонда в списки территорий международного значения (Рамсарские территории, биосферные резерваты ЮНЕСКО, трансграничные ООПТ), разработке планов управления ООПТ; оценке воздействия на окружающую среду и формировании системы мониторинга растительности в 30-км зоне вокруг Белорусской АЭС; планировании и выполнении мероприятий государственных программ; практике контроля правонарушений в сфере природопользования, практической деятельности государственных природоохранных учреждений. С 2016 г. начаты работы над масштабным проектом «Цифровая карта растительности Беларуси»; в 2020 г. завершен пилотный цикл с созданием 2 тематических крупномасштабных (М 1 : 25 000) и среднемасштабных (М 1 : 500 000) цифровых карт северной геоботанической подзоны Беларуси (А. В. Пучило, Д. Г. Груммо и сотр.).

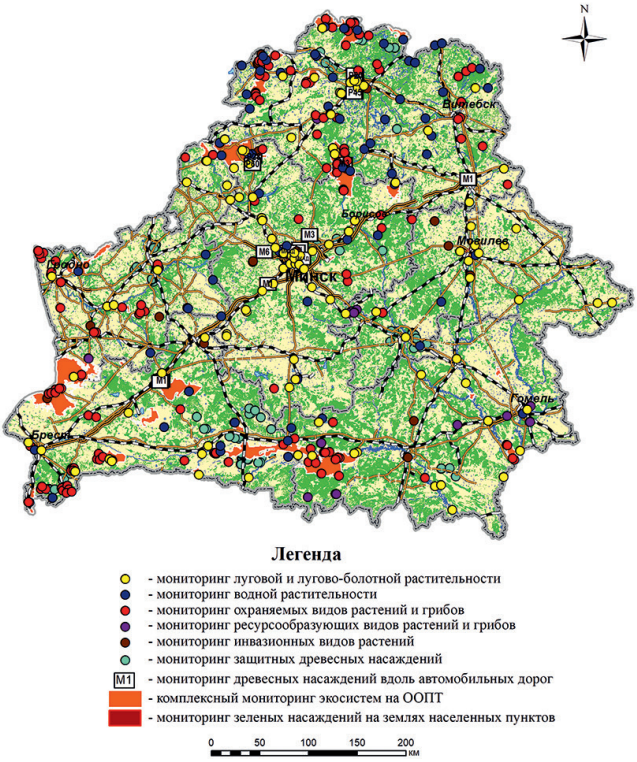


Схема сети мониторинга растительного мира Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь

Разработан комплекс научно обоснованных мер по предотвращению распространения наиболее опасных инвазивных видов растений. Опубликована монография «Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения» (2020 г.), в которой приведены результаты исследований по биологии, экологии и географии 52 видов наиболее вредоносных чужеродных растений Беларуси, даны рекомендации по предотвращению их дальнейшего распространения и проведению истребительных и других мероприятий, направленных на ограничение их расселения, приведен перечень из 270 чужеродных видов сосудистых растений, обладающих инвазионным потенциалом (Д. В. Дубовик, Н. А. Ламан, А. В. Пугачевский, В. И. Парфенов, А. Н. Скуратович, В. Н. Прохоров, О. М. Масловский и др.). Коллективу авторов присуждена премия НАН Беларуси 2020 г. в области биологических наук. Разработаны научные и практические основы борьбы с распространением наиболее опасных инвазивных растений (борщевика Сосновского, золотарника канадского и др.). Разработаны стратегия и план действий по борьбе с борщевиком Сосновского и другими наиболее опасными инвазивными видами растений на территории Республики Беларусь на 2018–2025 гг. (утверждены постановлением Минприроды от 10.08.2018 г.) (Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров, О. М. Масловский и сотр.). Проведен ряд научных (разработка технологий применения препаратов избирательного действия, получение новых перспективных в фитопатологических и фармацевтических целях субстанций и т.д.), научно-практических (более 1000 экспертиз плодородного слоя почвы, снимаемого с земельных участков, отведенных под строительство, эксперименты по внедрению новых технологий и способов борьбы в гг. Минске, Полоцке, Слуцке и др.) и организационных мероприятий (обучающие семинары по вопросам регулирования распространения и численности инвазивных видов растений) по выполнению плана действий по борьбе с борщевиком Сосновского и другими наиболее опасными инвазивными видами растений (Н. А. Ламан, В. Н. Прохоров и сотр.).

Разработаны (совместно с НПЦ по биоресурсам НАН Беларуси, Институтом природопользования НАН Беларуси) и внедрены в практику меры по восстановлению нарушенных торфяников. На основе работ по инвентаризации торфяного фонда Беларуси разработаны «Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников», «Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года» (утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111). Проведены практико-ориентированные научно-исследовательские работы: по научному обоснованию восстановления нарушенных месторождений торфа общей площадью около 15 тыс. га; разработке технологии устойчивого управления важными для сохранения биоразнообразия торфяниками (восстановление гидрологического режима, выкашивание, контролируемые палы); подготовке стратегии и плана действий по восстановлению (до 2030 г.) гидрологического режима на 140 тыс. га деградированных торфяников; созданию баз данных по растительности и биотопам для государственного

реестра и электронного атласа торфяных месторождений Беларуси (Д. Г. Грумо, А. В. Судник и сотр.).

Разработаны технологии получения линейки бактеризованных органоминеральных почвогрунтов и добавок в субстраты для получения стандартного посадочного материала и улучшения его качества (совместно с Институтом микробиологии НАН Беларуси и Центральным ботаническим садом НАН Беларуси). Разработки по получению биопрепаратов для бактеризации грунтов и органоминеральных гранулированных добавок и субстратов позволили расширить ассортимент выпускаемых в республике биопрепаратов и почвогрунтов, наладить их производство для конкретных видов растений в зависимости от возраста и биологических особенностей культуры. Применение субстратов и добавок в условиях закрытого грунта и в малообъемных технологиях позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, а технология выращивания с использованием органоминеральных бактеризованных почвогрунтов и добавок позволяет повысить эффективность производства, снизить себестоимость продукции за счет повышения производительности труда, экономии материальных и энергетических ресурсов (Н. А. Ламан, Ж. Н. Калацкая и сотр.).

Всего в 2016–2020 гг. более 400 разработок учреждения использованы в производственном процессе, его обслуживании и управлении, переданы права использования результатов; более 60 из них используются с реализацией продукции, остальные имеют социально-экологический эффект. Полученный объем использования результатов в производстве (продукции, услуг, выполненных работ) составил около 13 000 тыс. рублей, из них отгружено инновационной продукции (работ, услуг) на сумму 7368 тыс. руб.

В интересах лесного хозяйства проведена инвентаризация построенных в 1950–1990 гг. мелиоративных систем, переданных в лесной фонд выработанных торфяников, сельскохозяйственных и других осушенных земель (совместно с Институтом леса НАН Беларуси). Дана экологическая оценка состояния и эффективности осушенных земель в лесном фонде. Всего обследовано 927 гидролесомелиоративных систем и переданных в лесной фонд участков осушенных земель общей площадью 455 960 га. Для каждого из участков разработаны рекомендации по их использованию. Разработаны стратегия и схема устойчивого использования мелиоративных систем на землях лесного фонда (А. В. Судник, И. М. Степанович и др.).

Разработаны и внедрены в практику ведения лесного хозяйства «Лесотипологическая классификация антропогенно-производных ассоциаций сосновых лесов» и ТКП 587-2016 (33090) «Правила выделения типов леса», позволяющие проводить инвентаризацию лесов на единой научно-методической основе (А. В. Пучило, Р. В. Цвирко и сотр.).

Разработаны «Рекомендации по использованию защитно-стимулирующих композиционных составов для посадочного материала хвойных пород в лесных питомниках», применение которых обеспечивает увеличение продуктивности сеянцев хвойных пород на 25–30 %, увеличение коэффициента использования удобрений на 40%, улучшение фитосанитарного состояния растений на 50 % (В. П. Шуканов и сотр.).

Разработаны «Методические рекомендации по оптимизации рубок леса, лесовосстановления и лесоразведения с учетом закономерностей природных сукцессий», использование которых позволяет снизить риски и сократить сроки лесовыращивания, сохранить биоразнообразие при проведении лесохозяйственных мероприятий, сократить нецелесообразные затраты на лесовосстановление и лесозащитные мероприятия, повысить долю участия ценных пород в составе молодняков (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин и сотр.).

Разработан «Комплекс мер по устойчивому развитию рекреационной деятельности в лесном хозяйстве Республики Беларусь на период до 2030 г.», включающий: организационно-правовое обеспечение, рекреационное обустройство лесного фонда, социально-экономические аспекты, кадровое обеспечение, информационно-коммуникационное сопровождение (А. В. Пучило, Д. Г. Груммо и сотр.).

Создан интерактивный мультимедийный определитель по диагностике наиболее распространенных болезней в лесном фонде, питомниках и дендропарках. Разработано приложение «Мобильный определитель вредителей и болезней лесных культур» для смарт-телефонов на базе системы Android (Т. Г. Шабашова и сотр.).

Подготовлены и внедрены в практику работы Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь «Методические рекомендации по исследованию лесоматериалов дендрохронологическим методом в судебно-ботанической экспертизе» (М. В. Ермохин и сотр.).

Разработаны мероприятия по охране редких и типичных биотопов, оптимизации рубок леса, лесовосстановления и лесоразведения. Подготовлены дополнения к проектам организации и ведения лесного хозяйства более 30 ГЛХУ с учетом мероприятий по охране редких и типичных биотопов, что обеспечило сертификацию лесхозов по стандарту FSC, сняло препятствия для экспорта лесной продукции в страны Европейского Союза (А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин и сотр.).

В интересах охраны окружающей среды создана нормативно-правовая и методическая основа блока аэрокосмического мониторинга экосистем ООПТ в системе НСМОС: «Инструкция о порядке проведения комплексного мониторинга экологических систем на особо охраняемых природных территориях» и «Методика комплексного мониторинга экологических систем на особо охраняемых природных территориях» (утверждены постановлением Бюро Президиума НАН Беларуси от 04.12.2020 г. № 547). Тем самым заложен фундамент активного развития в ближайшие годы «цифровых методов» мониторинга в национальной системе рационального природопользования (Д. Г. Груммо, А. В. Судник и сотр.).

При участии специалистов Института разработаны законы Республики Беларусь «Об особо охраняемых природных территориях» (принят Палатой представителей 16.10.2018 г.), «Об охране и использовании торфяников» (принят Палатой представителей 03.12.2019 г.) (Д. Г. Груммо и сотр.).

В интересах городского коммунального хозяйства и зеленого строительства разработаны «Рекомендации по применению на городских газонах препаратов, ингибирующих рост и развитие одуванчика лекарственного».

Применение технологии наряду с существенным снижением численности сорняка позволило уменьшить количество кошений на 30 %, снизить затраты на использование гербицидов и сохранить на обработанных участках растительный покров из многолетних злаковых трав. Разработка внедрена в практику работы УП «Минскзеленстрой» (В. Н. Прохоров и сотр.). Разработана также «Инструкция по определению аварийности и жизненного состояния деревьев в составе зеленых насаждений на землях населенных пунктов» (А. В. Судник и др.).

В интересах дорожной отрасли при участии специалистов Института разработан ТКП 337/ПР (33200) «Автомобильные дороги. Правила благоустройства и озеленения» (совместно с РДУП «БелдорНИИ», ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси»). Разработаны шкалы потенциального воздействия строительства и содержания автомобильных дорог на состояние прилегающих зеленых насаждений; рисков посадки и выращивания древесно-кустарниковых растений вдоль автодорог с учетом потенциального воздействия строительства и содержания автодорог на состояние придорожных насаждений (А. В. Судник и сотр.).

В интересах сельского хозяйства разработана технология получения импортозамещающих экологически чистых средств защиты растений на основе наночастиц микроэлементов (совместно с Институтом физико-органической химии НАН Беларуси) – микроудобрение Наноплант (договор об уступке прав на объекты промышленной собственности с НТООО «АКТЕХ»). Объем отгруженной продукции по этой разработке только в 2019 г. составил 149,5 тыс. долл. США, объем экспорта 101,6 тыс. долл. США (В. И. Домаш и сотр.).

Разработан экологически безопасный лечебно-профилактический препарат « Метафитохит» на основе биологически активных компонентов микробного и растительного происхождения (совместно с Институтом экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышелесского) для профилактики и лечения дисбиотических состояний различной этиологии и их последствий у молодняка крупного рогатого скота, коррекции состава микрофлоры желудочно-кишечного тракта, стимуляции иммунитета сельскохозяйственных животных (О. Л. Канделинская и др.).

Создана коллекция семян наиболее значимых генетических ресурсов хозяйственно полезных растений природной флоры, которая включена в состав Национального банка генетических ресурсов растений Республики Беларусь (С. А. Дмитриева и сотр.).

Разработаны Технические условия получения препаратов на основе сырья из инвазивных растений, обеспечивающих пролонгирование сроков хранения плодов сельскохозяйственных культур «Трава золотарника канадского» (ТУ BY 100029064.010-2020) и «Инструкция по заготовке сырья и практическому использованию инвазивных видов дикорастущих растений золотарника для защиты культурных растений от вредителей и болезней» (О. А. Иванов и сотр.).

Потребителями научно-технической продукции Института являются министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, лесно-

го хозяйства, транспорта и коммуникаций, жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, Государственная инспекция охраны растительного и животного мира при Президенте Республики Беларусь, природоохранные учреждения Управления делами Президента Республики Беларусь, строительные, проектные, дорожные организации и др.

В настоящее время в штате Института 131 человек, из них 113 научных сотрудников. Это высококвалифицированный коллектив ученых, среди которых 6 докторов и 42 кандидата наук – ботаники, физиологи и биохимики растений. Многие из них своим вкладом в развитие различных областей ботанической науки хорошо известны в Беларуси, странах СНГ и в дальнем зарубежье. В Институте трудятся академики В. И. Парфенов и Н. А. Ламан, доктора биологических наук В. И. Домаш, В. В. Сарнацкий, И. М. Степанович, В. Н. Прохоров, другие известные ученые.

В Институте созданы и функционируют кластерные структуры: Республиканский центр комплексного картографирования биоразнообразия, Головной центр экспертизы объектов живой природы, Информационно-аналитический центр мониторинга растительного мира и комплексного мониторинга естественных экологических систем на особо охраняемых природных территориях, которые проводят работы по картографированию растительности, оценке воздействия на окружающую среду действующих и проектируемых промышленных объектов, специальной экспертизе (микологической, дендрологической, фитопатологической и др.), оценке биоресурсов и т. д.

Институт активно развивает международное сотрудничество. В настоящее время действуют договоры (соглашения, меморандумы) с 45 научными, образовательными и другими организациями из 17 стран (Российская Федерация, Украина, Грузия, Республика Армения, Республика Казахстан, Республика Таджикистан, Республика Узбекистан, Кыргызская Республика, Литовская Республика, Республика Польша, Французская Республика, Великобритания, Республика Сербия, Республика Сербская, Социалистическая Республика Вьетнам, Китайская Народная Республика, Республика Индонезия), направленные на реализацию совместных научных исследований, творческое и научно-педагогическое сотрудничество. Кроме того, по линии Государственного комитета по науке и технологиям выполняются совместные проекты с организациями Федеративной Республики Германия, Румынии, Южной Кореи.

С целью разработки новых принципов формирования фототрофного звена высших растений в замкнутых экосистемах космического и земного назначения создана российско-белорусская лаборатория инновационных биоинженерных технологий (организация-партнер – Институт биофизики Сибирского отделения РАН).

Институт является ассоциированным членом Интегрированной системы банков генов Европы (AEGIS) и Европейского института леса (EFI).

На базе Института регулярно проводятся международные конференции:

– Купревичские чтения «Проблемы экспериментальной ботаники»;

– Международная научная конференция «Регуляция роста, развития и продуктивности растений»;

– Международная научно-практическая конференция «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов»;

– Международная научная конференция «Мониторинг и оценка состояния растительного мира»;

– Международная научная конференция «Биология, систематика и экология грибов и лишайников в природных экосистемах и агрофитоценозах»;

– ежегодные обучающие семинары для студентов и аспирантов белорусских и российских ВУЗов по специальности «Лесное хозяйство».

В 2011–2020 гг. Институт принял участие в выполнении ряда крупных международных проектов в области сохранения биоразнообразия, ренатурализации нарушенных земель, экологизации отраслей экономики на основе договоров с международными организациями (ПРООН, ГЭФ, Всемирный банк и др.), а также с организациями Российской Федерации, Латвийской Республики, Китайской Народной Республики, Тайваня.

Только с 2016 по 2020 гг. общее количество привлеченных валютных средств в рамках международных договоров составило 1 264,5 тыс. долларов США. Кроме того, сотрудниками Института получено 104 гранта на выполнение исследований и участие в международных мероприятиях на общую сумму 185,1 тыс. долларов США.

В этот период выполнены 166 поручений Президента Республики Беларусь, Совета Министров Республики Беларусь, Национального собрания Республики Беларусь, министерств, государственных комитетов, а также 1312 поручений и дано ответов на обращения органов государственного управления и организаций, выполнено 277 научных экспертиз по обращениям граждан. Подготовлены и направлены в органы государственного управления 25 аналитических записок. Подготовлены и заслушаны на заседаниях проблемного совета при Отделении биологических наук и Бюро Президиума НАН Беларуси 2 научных аналитических доклада.

Активно ведется работа по защите интеллектуальной собственности. В течение пяти лет были подготовлены и направлены в Национальный центр интеллектуальной собственности Республики Беларусь 14 заявок на объекты права промышленной собственности, получено 38 патентов на изобретения.

Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь Институту предоставлено право проводить испытания средств защиты растений и удобрений, подлежащих государственной регистрации, для хвойных, лиственных древесных и кустарниковых пород в лесных, защитных, озеленительных насаждениях, лесных плантациях и питомниках и других объектах несельскохозяйственного назначения, газонов, декоративных древесно-кустарниковых растений открытого грунта; для льна; для инвазивных видов, земель несельскохозяйственного использования (полосы отчуждения линий электропередач, трассы газо- и нефтепроводов, насыпи железных и шоссейных дорог, аэродромы и другие промышленные территории) и в населенных пунктах.

Работая на перспективу, Институт готовит научные кадры высшей квалификации через аспирантуру и докторантуру по 4 специальностям: «ботаника», «физиология и биохимия растений», «экология» и «микология» (отрасль – биологические науки). Подготовка научных кадров ведется как для собственных нужд Института, так и для сторонних организаций: ВУЗов, государственных научных и природоохранных учреждений и т.д. Аспирантскую подготовку получают и граждане других государств.

При Институте функционирует совет по защите диссертаций Д 01.38.01, которому, единственному в Беларуси, разрешено принимать к защите кандидатские и докторские диссертации по специальностям «ботаника» и «физиология и биохимия растений» (биологические науки). Также в совете защищают диссертации по специальности «экология» (биологические науки). За 10 лет в совете были защищены 3 докторские и 37 кандидатских диссертаций, проведены 2 переаттестации диссертаций, защищенных в других странах. Разработан перспективный план подготовки научных кадров института на 2021–2025 гг. Планируется защита не менее 3 докторских и 10 кандидатских диссертаций.

Ведущие ученые Института участвуют в работе советов по защите диссертаций и в других учреждениях (Белорусском государственном технологическом университете, Институте леса НАН Беларуси), работают в экспертных советах Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь, Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь.

Ученые Института входят в состав научно-технических советов Минприроды и Минлесхоза, всех национальных парков и Березинского биосферного заповедника, ряда межведомственных координационных советов, участвуют в работе редакционных коллегий научных и научно-производственных журналов в Беларуси («Лесное и охотничье хозяйство», «Природные ресурсы», «Известия НАН Беларуси» и др.) и Российской Федерации («Растительные ресурсы», «Лесоведение», «Овощи России»).

Институт является непосредственным организатором ОО «Белорусское ботаническое общество» и Белорусского общественного объединения физиологов растений.

По результатам научной деятельности и за вклад в разработку природоохранных мероприятий сотрудники Института неоднократно удостаивались государственных наград, отмечены рядом министерств, ведомств, организаций Республики Беларусь. Только в течение периода с 2016 по 2020 гг. было получено 50 наград (медали, почетные грамоты, грамоты, благодарности, нагрудные знаки, памятные знаки и др.). В 2016 г. академик Н.А.Ламан награжден медалью Франциска Скорины за большой вклад в создание научных основ современного устойчивого и экологически безопасного растениеводства и охраны окружающей среды, многолетнюю плодотворную научно-организационную деятельность и подготовку научных кадров высшей квалификации.

В 2018 г. Институт признан одним из победителей и занесен на Доску почета НАН Беларуси за достижение наилучших результатов в научной, научно-технической, инновационной и производственной деятельности.

Успешное развитие Института, науки в целом невозможно вне общего инновационного процесса, без широкого внедрения новых методов, технических средств, без новых идей и опоры на мировые достижения в ботанике и смежных дисциплинах. Поэтому в заключение скажем об основных направлениях, которые будут реализованы в ближайшей и среднесрочной перспективе в научных подразделениях Института.

Планируется выполнение не только крупных фундаментальных обобщений и получение новых практически значимых результатов в области традиционных направлений ботанической науки, но и развитие новых инновационных направлений в биологии и биотехнологии.

К 2025 г. планируется завершить публикацию многотомного фундаментального издания «Флора Беларуси», в котором впервые в истории нашей страны будут обобщены знания о наличии и распространении основных групп растительных организмов: от высших сосудистых растений до грибов и лишайников. Всего планируется издать 18 томов.

В области геоботаники будет разработан многофункциональный интерактивный атлас растительности Беларуси, основанный на полевых материалах и данных дистанционного зондирования Земли. Будут подготовлены первые тома фундаментального издания «Растительность Беларуси», отражающего современную структуру и динамику растительного покрова страны. Дальнейшее развитие получит динамическая типология лесов.

В исследования флоры и микобиоты и ряд направлений экспертной деятельности будут интегрированы молекулярно-генетические методы и информационные технологии, что позволит не только расширить и углубить таксономические исследования, но и приступить к геногеографическим оценкам природных популяций растений и грибов.

В систему мониторинга растительного мира будут интегрированы методы дистанционного зондирования, разработана технология выявления угроз, количественной оценки и прогнозирования последствий антропогенного и негативного природного воздействия на объекты растительного мира на основе комплексного использования аэрокосмической информации, в т.ч. получаемой с беспилотных летательных аппаратов. На этой основе в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды будет создан блок дистанционного зондирования объектов растительного мира и экосистем.

Будут разработаны и интегрированы в систему мониторинга методы контроля выделения и поглощения растительным покровом потоков углерода, других парниковых газов.

Планируется создание комплекса информационных технологий в эколого-ботанической сфере для решения задач изучения биоразнообразия и управления им, включая: обработку больших массивов данных и извлечение знаний, основанных на распределенных высокопроизводительных вычислениях (в т. ч. «облачные»), интеллектуальные экогеоинформационные системы, биоинформатику экосистем на основе ДДЗ, системное ресурсоведение и моделирование управленческих решений на базе материалов кадастра растительного мира.



Работа над картой растительности Нарочанского региона
(Д. Г. Груммо и Р. В. Цвирко)

Будет создана система прогнозирования сукцессий и инвазионных процессов в природном растительном покрове и культурфитоценозах в условиях меняющихся климата, характера землепользования, гидрологического режима.

Будут разработаны или адаптированы для условий Беларуси интерактивные атласы-определители растительных организмов, типов и ассоциаций растительных сообществ на основе технологий искусственного интеллекта.

На основе ботанических коллекций гербария Института будут развернуты работы по созданию цифрового гербария – крупнейшей национальной базы данных о разнообразии растительного мира.

В области физиологии, биохимии и биотехнологии растений развитие получат такие перспективные направления как:

– разработка искусственных субстратов многоразового использования для выращивания пищевых (овощных, зеленных, пряно-ароматических) и декоративных растений в замкнутых экосистемах на основе ионообменных материалов нового поколения;

– изучение зависимости «доза-эффект» при обработке растений гербицидами и регуляторами роста, явления гормезиса и возможностей его практического использования;

– биохимическая оценка инвазивных видов растений в качестве потенциального источника сырья для производства фармпрепаратов, биологически активных добавок, других хозяйственно полезных соединений;

– изучение воздействия наночастиц и комплексов на основе производных фуллеренов на функции растительной клетки с целью разработки нанобиотехнологий регуляции стрессоустойчивости растений;

– модификация фотосинтетических процессов *in vivo* и *in vitro*: дизайн искусственных фотосинтетических модулей, создание био-био- и био-нано-гибридных систем;

– разработка способов получения новых биопрепаратов из растительного сырья с включением наночастиц микроэлементов целевого назначения для сельского хозяйства, ветеринарии и медицины;

– исследование влияния света различного спектрального состава на физиологию растений защищенного грунта, направленное на оптимизацию их светового режима в соответствии с целевой функцией повышения урожая при сохранении его качества и экономии электроэнергии, а также интенсификацию синтеза вторичных метаболитов растениями–продуцентами фармацевтически ценных субстанций;

– изучение взаимосвязи энерготрансформирующих процессов (фотосинтеза и дыхания) и водообмена растений в формировании их стрессоустойчивых фенотипов с целью выявления критериев экологической пластичности растений, способов минимизации негативного воздействия стрессов на них и адаптации микроклонов растений к условиям *ex vitro*;

– развитие представлений о физиологических и биохимических закономерностях формирования фитоиммунитета, особенностях протекания патологического процесса в растении, разработка методов увеличения количества и качества растениеводческой продукции при применении экологически безопасных защитно-стимулирующих составов;

– развитие новых подходов к управлению продуктивностью, адаптивными функциями растений и качеством семян с использованием молекулярно-генетических и физиолого-биохимических манипуляций;

– реконструкция метаболических путей на основе постгеномных технологий при адаптации растений к биотическим и абиотическим стрессам;

– конструирование лиганд-рецепторных взаимодействий, обеспечивающих эффективность распознавания при формировании эндосимбиозов и выявления потенциальных патогенов для повышения продуктивности и устойчивости культурных растений;

– изучение гормональных регуляторных систем растений и их биосовместимости *in vivo* с про- и эукариотическими организмами с целью создания новых биотехнологий для сельского хозяйства.

В сфере прикладной ботаники и разработки экотехнологий предполагается развитие таких направлений как:

– скрининг, идентификация, структурно-функциональный анализ и направленный дизайн биологически активных соединений растительного происхождения, обладающих практически значимым потенциалом, на основе конвергентных технологий, сочетающих методы биотехнологии и биоинформатики;

– скрининг и оценка эффективности новых форм биодеградируемых препаратов для сельского хозяйства, ветеринарии и медицины;

– разработка методов воздействия на растения с целью изменения состава и содержания фармакологически ценных соединений и создание на этой основе растений-сверхпродуцентов (биофабрик) для получения субстанций ветеринарного, медицинского и иного назначения;

– конструирование высокопродуктивных искусственных экосистем в комплексе с «умным LED-освещением» и организацией корнеобитаемых

сред, учитывающих особенности выращиваемых культур и задачи производства;

– разработка нанобиотехнологических инструментов управления продуктивностью и стрессоустойчивостью растений, технологий получения функционализированных растительными белками и пептидами наночастиц и создание на их основе наносенсоров различного направления

– создание экологически безопасных и экономически эффективных технологий использования отходов биотехнологических производств как вторичных материальных ресурсов.

Получит дальнейшее развитие производственная деятельность. И прежде всего – создание собственных производств на базе опытно-производственного участка наработки органо-минеральных и ионообменных субстратов, добавок и удобрений:

– получение и экспериментальное производство новых видов удобрений, компонентов почвогрунтов и искусственных субстратов пролонгированного действия с использованием эффективных микроорганизмов, индукторов устойчивости и отходов биотехнологических производств;

– производство новых форм малотоксичных препаратов на основе биодеградируемых полимеров и стимуляторов с низкой нормой расхода.

Для обеспечения собственных исследований и оказания услуг планируется формирование парка специализированных беспилотных летательных аппаратов (класса коптеров). С помощью этих машин будут осуществляться оценка состояния и динамики природных растительных сообществ или популяций, мониторинг, отбор образцов на труднодоступных местностях или участках (деревья, сооружения, болота, воды и т.п.), выявление зарослей инвазионных и ресурсных растений, точечная обработка растений и их зарослей с целью их уничтожения или подавления патогенов и вредителей.

Развитие этих направлений потребует значительного интеллектуального напряжения и организационных усилий всего коллектива, перехода во многом на новые методы и технологии научно-производственного процесса.

Коллектив Ордена Трудового Красного Знамени Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси уверенно смотрит в будущее. Накопленный опыт, научные достижения, наличие высококвалифицированных кадров, примеры успешного решения научных и научно-практических задач в новых социально-экономических условиях дают основания для уверенности в том, что Институт будет играть все возрастающую роль в решении актуальных проблем природоохранной деятельности, эффективного функционирования отраслей экономики. Крайне важной остается задача научного обеспечения сохранения и рационального использования природных растительных ресурсов, выполнение Республикой Беларусь обязательств по ряду международных конвенций.

Литература

1. Национальная академия наук Беларуси: историко-документальная летопись, 1928–2008 / сост.: Г. В. Корзенко [и др.]; редкол. М.В.Мясникович [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2008. - 604 с.

2. Купревич, В. Ф. Академия наук Белорусской ССР / В. Ф. Купревич. – Минск : Наука и техника, 1968. – 239 с.

3. Міхайлоуская, В. А. Інстытут эксперыментальнай батанікі (гістарычны нарыс) / В. А. Міхайлоуская, М. М. Ганчарык // Весці АН БССР. Сер. біял. навук, 1967, № 3. – С. 22–30.

4. Национальная академия наук Беларуси: 1929–1999 / Под науч. ред. Н. А. Борисевича. – Минск: Беларуская навука, 1998. – 251 с.

5. Ламан, Н. А. Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси: история, современное состояние и перспективы развития / Н. А. Ламан // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск : Право и экономика, 2005. – Вып. 33. – С. 5–16.

6. Пугачевский, А. В. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси в XXI столетии – первые итоги и перспективы развития / А. В. Пугачевский, Н. А. Ламан // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск: Институт радиологии, 2011. – Вып. 40. – С. 30–54.

7. Пугачевский, А.В. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси: история становления и перспективы развития (к 85-летию образования) / А. В. Пугачевский, Т. Ф. Сосновская // Ботаника (исследования): сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф.Купревича НАН Беларуси. Минск: Институт радиологии, 2016. – Вып. 45. – С. 3–25.

Поступила в редакцию 02.11.2021 г.

Флора и систематика

Flora and systematics

УДК 582.35/.99:502.75

В. И. ПАРФЕНОВ, С. А. ДМИТРИЕВА,
С. С. САВЧУК, В. Н. ЛЕБЕДЬКО

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИКИХ РОДИЧЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: ovata@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты 15-летнего периода изучения одного из важнейших компонентов природной флоры Беларуси – диких родичей культурных растений и диких продовольственных видов растений. Показано, что эти группы растений отличаются высоким таксономическим и биологическим разнообразием. Инвентаризационный перечень включает 670 видов, относящихся к 72 семействам и 252 родам. Определены основные направления дальнейших исследований по сохранению генофонда диких родичей культурных растений и диких продовольственных видов. В Национальный генетический банк подана коллекция семян, включающая более 1300 образцов. Программа сохранения *ex situ* предусматривает пополнение семенных коллекций в основном за счет редких видов растений, в условиях *in situ* – выполнение ряда последовательных этапов, основными из которых являются инвентаризация видов, географическая локализация популяций, оценка состояния и жизнеспособности, рациональное устойчивое использование генофонда, рекомендации по эксплуатации и сохранению. При сохранении генофонда в условиях *in-situ* обязательным этапом дальнейших исследований является регулярный мониторинг природных популяций.

Ключевые слова: дикие родичи культурных растений, дикие продовольственные виды растений, инвентаризация, условия *ex situ* и *in situ,* генофонд, сохранение, рациональное использование

V. I. PARFENOV, S. A. DMITRIEVA, S. S. SAUCHUK, V. N. LEBEDKO

THE MAIN RESULTS AND PROSPECTS OF THE STUDY WILD RELATIVES OF CULTIVATED PLANTS

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

Annotation. The results of a 15-year period of study of one of the most important components of the natural flora of Belarus – wild relatives of cultivated plants and wild food plant species presents in artikle. It is shown that these groups of plants are distinguished by high taxonomic and biological diversity. The inventory list includes 670 species belonging to 72 families of 252 genus. The main directions of further research on the conservation of the gene fund of wild relatives of cultivated plants and wild food species are determined. A collection of seeds, including more than 1300 samples, was submitted to the National Genetic Bank. The program of *ex-situ* conservation provides replenishment of seed collections mainly due to rare plant species. In conditions of *in-situ* are provided the implementation of a number of successive stages, the main of which are the

inventory of species, geographical localization of populations, assessment of the state and viability, rational sustainable use of the gene fund, recommendations for exploitation and conservation. While preserving the gene fund in conditions of *in-situ* regular monitoring of natural populations is an obligatory stage of further research.

Keywords: wild relatives of cultivated plants, wild food plant species, inventory, condition of *ex-situ* and *in-situ*, gene fund, conservation, rational use

Введение. Дикие родичи культурных растений (ДРКР) и дикие продовольственные виды (ДПВ) являются важным компонентом природной флоры и имеют большое значение для обеспечения продовольственной безопасности, экономической стабильности и социального благополучия. Характерной их особенностью является высокий уровень генетического разнообразия и адаптивного потенциала, выработанный в неконтролируемых, нередко экстремальных условиях окружающей среды при воздействии широкого спектра природных и антропогенных факторов. В связи с этим данные растения служат ценными донорами и источниками полезных генов для растениеводства и селекции и, прежде всего, для повышения устойчивости к неблагоприятным факторам в условиях неуклонного возрастания антропогенной нагрузки и климатических изменений, приобретающих нередко глобальный характер.

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема сохранения генофонда полезных видов растений, поскольку в связи с глобальным ухудшением экологической ситуации существует угроза их вымирания и невосполнимой утраты ценного генетического материала.

При реализации стратегии сохранения генофонда полезных видов используются 2 подхода – *in situ* (в природной среде), где обеспечивается возможность сохранения генофонда вида как целостной, постоянно эволюционирующей системы популяций, и *ex situ* (в хранилищах генетического материала) при определенных контролируемых условиях.

Материалы (объекты) и методы исследования. Материалом для работы послужили данные собственных флористических исследований (2006-2021 гг.), а также фондовые образцы Гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK). Исследования проводились традиционным маршрутным методом. Для этого была заложена сеть стационаров, в пределах которых прокладывались маршруты, проводилось описание популяций, делались флористические и геоботанические описания, отбирались гербарные образцы.

Результаты и их обсуждение. Впервые изучение ДРКР и ДПВ в Беларуси началось в рамках реализации второго этапа государственной программы «Генофонд» (2000–2010 гг.). В настоящее время проведен первый этап изучения этих групп растений – инвентаризация. Установлено, что они характеризуются высоким таксономическим разнообразием. Их инвентаризационный перечень включает 670 видов, относящихся к 72 семействам и 252 родам. Среди них доминируют семейства, представители которых были издавна одомашнены и культивировались в качестве полезных растений. Так, 168 (25,1 %) видов относится к сем. Мятликовые

(*Poaceae*), 74 (11,0 %) – к сем. Бобовые (*Fabaceae*), 54 (8,1 %) – к сем. Розовые (*Rosaceae*), 37 – (5,5 %) – к сем. Капустные (*Brassicaceae*). Наиболее крупными родами по числу видов являются: роза (Rosa) – 22 вида, клевер (*Trifolium*) – 21 вид, овсяница (*Festuca*) – 18 видов, щавель (*Rumex*) – 17, горошек (*Vicia*) и марь (*Chenopodium*) – по 15, щирица (*Amaranthus*) и мятлик (*Poa*) – по 12, колокольчик (*Campanula*) – 11, костер (*Bromus*) – 10 видов. Семенная коллекция, представленная нами в республиканский генетический банк, включает около 1300 образцов.

Наряду с высоким таксономическим разнообразием виды ДРКР и ДПВ различаются по своему генезису, эколого-географическим и биологическим особенностям, что необходимо учитывать при разработке мероприятий по сохранению их генофонда. Вместе с тем они обладают широким диапазоном полезных свойств. В зависимости от возможного целевого использования ДРКР и ДПВ нами ранжированы на 9 основных групп. При этом численное соотношение видов в конкретных целевых группах иное, чем в группах хозяйственно полезных растений вообще [1]. Наиболее крупной является группа «Кормовые», включающая 398 видов (59,4 % от их общего числа, равного, как уже отмечалось, 670), тогда как среди хозяйственно полезных растений в целом самой крупной является группа «Лекарственные». Здесь же данная группа занимает шестое место по числу видов (183; 9,7 %). Среди кормовых растений ДРКР и ДПВ наиболее высокой ресурсной и питательной ценностью характеризуются следующие представители природной флоры: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.), виды рода Мятлик (*Poa* L.), овсяница (*Festuca* L.), клевер (*Trifolium* L.), чина (*Lathyrus* L.), люцерна (*Medicago* L.), лядвенец (*Lotus* L.), донник (*Melilotus* Mill.) и др. Они послужили исходным материалом для выведения широко используемых в кормопроизводстве сортов растений, характеризующихся высокой продуктивностью [2–4].

На долю пищевых растений приходится 288 (43,0 %) видов. Среди них по пищевой ценности и занимаемым площадям выделяется группа лесных ягодных растений. Наиболее востребованы черника (*Vaccinium myrtillus* L.), клюква болотная (*Oxycoccus palustris* Pers.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), малина (*Rubus idaeus* L.), ежевика (*Rubus caesius* L.), брусника (*Vaccinium vitis idaea* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.). Большинство остальных видов этой группы изредка используются преимущественно в качестве овощных (для салатов, винигретов, гарниров, первых блюд) и напиточных (суррогатов кофе и чая). Примером могут служить крапива двудомная (*Urtica dioica* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg. s. l.), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), щавель кислый (*Rumex acetosa* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.), липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.) и ряд других.

Большой популярностью у населения пользуется группа пряно-ароматических растений, используемых в быту и в различных отраслях промышленности: пищевой, ликеро-водочной, парфюмерно-косметической и др. Наиболее востребованными являются тмин обыкновенный (*Carum carvi* L.), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.), тимьян ползучий (T*hymus serpyllum* L.), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), хрен обыкновенный (*Armoracia rusticana* Gaertn., Mey et Scherb.), душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.), аир обыкновенный (*Acorus calamus* L.), донник лекарственный (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.)), зубровка ползучая (*Hierochloe repens* (Host) P. Beauv.), хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.), многие представители рода мята (*Mentha* L.). Пряно-ароматические растения должны рассматриваться как обязательные объекты охраны, поскольку натуральное растительное сырье до настоящего времени является достаточно востребованным в быту и промышленности. Необходимо учитывать, что пряно-ароматические дикорастущие растения, используемые в пищевой промышленности, в целом являются источником полезных, нередко незаменимых соединений и их употребление несомненно будет способствовать укреплению иммунной системы, сохранению и улучшению защитных свойств организма.

Необходимым этапом изучения полезных растений является получение информации о частоте встречаемости и географической локализации видов. Результаты разделения 670 видов ДРКР и ДПВ на группы по частоте встречаемости выглядят следующим образом: встречаются часто – 161 (24,0 %), изредка – 210 (31,3 %), редко – 121 (18,1 %), очень редко – 178 (26,6 %).

В связи с тем, что в республике создана система ООПТ (включающая заповедники, национальные парки, заказники и памятники природы республиканского и местного значения), где наряду с сохранением целевых охраняемых видов [5] осуществляется пассивная охрана всей биоты, целесообразно изучить распространение полезных растений, прежде всего именно на этих территориях. К настоящему времени проведена инвентаризация флоры в заповедниках [6,7], национальных парках [8–13] и некоторых заказниках [14–16 и др.]. Установлено, что здесь представлено более 70 % как обычных, широко распространенных, так и редких видов ДРКР и ДПВ. Однако многие редкие виды присутствуют в пределах ООПТ в небольшом числе (чаще в 1-2-х) местообитаний. Несмотря на большую работу, проведенную по изучению флористического разнообразия ООПТ, распространение ДРКР и ДПВ в пределах заказников по-прежнему остается малоизученным. Не изучена репрезентативность этих видов вне охраняемых территорий. В целом, предварительный анализ распространения ДРКР и ДВП на территории республики свидетельствует о том, что существующая система ООПТ не позволяет сохранить генофонд данного ценного компонента в необходимом объеме. Детальные изыскательские обследования всей территории республики позволят с высокой степенью вероятности выявить районы (ядровые зоны) с максимальной численностью хозяйственно полезных видов растений, что позволит приступить к работе по оптимизации сети ООПТ, а также изменению режимов охраны биоты.

Частота распространения видов определяет подходы к их дальнейшему изучению и охране. Учитывая реальную угрозу исчезновения и уязвимость видов, характеризующихся ограниченным распространением, т.е. встречающихся изредка, редко и очень редко, их необходимо считать первостепенными объектами охраны. Как свидетельствуют наши исследования, среди ДРКР и ДПВ такие виды преобладают (76,0 %). Из них 99 являются дикорастущими растениями, относящимися к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь (2015) [6]. В деле сохранения генофонда широко распространенных видов целесообразно сосредоточить внимание на выявлении редких, уникальных ценных в практическом отношении генотипов на основе предварительного детального изучения внутривидовой изменчивости и экологической амплитуды.

Инвентаризационный перечень ДРКР и ДПВ включает более 100 видов растений, изредка культивируемых в качестве лекарственных, декоративных, пряно-ароматических и пр. Многие из них легко натурализуются, занимая определенную нишу в растительных сообществах. В целях обогащения и сохранения их генофонда необходимо инициировать расширение работы по культивированию и вовлечению в нее крестьянских/фермерских хозяйств, в том числе дачников. По инициативе ученых должны быть разработаны рекомендации с учетом зональных особенностей регионов, объективных социальных и экономических факторов. Необходима также просветительская работа среди населения о их полезных свойствах, агротехнике, оптимальных путях и подходах практического использования.

При сохранении генофонда в условиях in situ обязательным этапом исследований является систематический мониторинг природных популяций, осуществляемый с целью оценки их состояния, выяснении оптимальных условий онтогенеза, выявления факторов угрозы. Проведение мониторинга требует изучения ряда традиционных особенностей признаков и свойств исследуемых объектов, адекватно отражающих их жизненную стратегию. К их числу относятся: формирование сети постоянных пунктов наблюдений и ее картографическое отображение, оценка состояния популяций по основным параметрам (занимаемая площадь, численность особей и их пространственное расположение, мощность развития и габитус, репродуктивные особенности, качество пыльцы, степень повреждения популяций, фенология, факторы угрозы). Важнейшим высокоинформативным показателем жизненности популяций, является их возрастной спектр, т.е. численное соотношение особей различного возраста – прегенеративных, генеративных и постгенеративных. Преобладание молодых и плодоносящих особей свидетельствует о потенциально высокой жизненности и прогрессивном развитии популяций, доминирование старых (сенильных, умирающих) является отражением их деградации и исчезновения. Наряду с этим может понадобиться видоспецифичный анализ признаков и свойств. Заключительный этап мониторинга – анализ и обобщение результатов наблюдений, сравнительная оценка жизненности популяций, а также подготовка рекомендаций по сохранению и эксплуатации данных групп растений.

Заключение. В соответствии с современными мировыми стандартами сохранение генетических ресурсов растений предполагает рациональное устойчивое их использование. С этой целью необходимо формировать базы данных, где должна быть отражена информация о состоянии популяций, результатах мониторинга, принимаемых мерах охраны и их эффективности, паспортных и описательных данных охраняемых популяций, рекомендациях по рациональному их использованию для нужд продовольствия и селекции. Важным условием целенаправленного использования генетических ресурсов растений является доступность информации, т.е. размещение ее на общедоступных сайтах.

Заключительным этапом является разработка научно-обоснованных перспективных планов и программ по сохранению генофонда ДРКР и ДПВ с учетом их биологических особенностей, частоты встречаемости, экономической значимости, уязвимости, а также комплекса закономерно меняющихся условий и факторов – экономических, социальных, экологических. С этой целью сведения о состоянии популяций ДРКР и ДПВ в виде обобщенных аналитических документов (рекомендаций, предложений, справок и пр.) необходимо систематически направлять в природоохранные учреждения для обоснования режимов землепользования и реализации мер охраны. Это откроет возможности применения комплексных подходов в вопросах сохранения генофонда и повысит эффективность реализации научно-обоснованных охранных мероприятий.

Таким образом, компонент ДРКР и ДПВ флоры Беларуси отличается высоким таксономическим и биологическим разнообразием, широким диапазоном полезных свойств, что позволяет удовлетворить многие насущные запросы потребителей на основе местного растительного сырья. В сложившейся экологической ситуации, характеризующейся неуклонным усилением антропогенного прессинга и глобальными климатическими изменениями, особую актуальность приобретает проблема сохранения и рационального использования биологического разнообразия, генофонда растительного компонента в целом, и, прежде всего, генофонда видов, обеспечивающих продовольственную безопасность, экономическую стабильность, социальное благополучие и экологическую пластичность природных экосистем.

Литература

1. Генетические ресурсы природной флоры Республики Беларусь / С.А. Дмитриева и др. // В кн. «Генетические ресурсы растений в Беларуси: мобилизация, сохранение, изучение и использование. Минск: Изд-во «Четыре четверти», 2019. – С. 343-386.

2. Жученко, А.А. Мобилизация генетических ресурсов цветковых растений на основе их идентификации и систематизации / А.А. Жученко. – М: 2012. – 584 с.

3. Медведев, П.Ф. Кормовые растения европейской части СССР / П.Ф. Медведев, А.И. Сметанникова. – Л.: Колос, 1981. – 336 с.

4. Основные кормовые растения сенокосов и пастбищ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http//studepedia.org/index.php?vol=1&post=57316/. – Дата доступа: 24.06.2021.

5. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: И.М. Качановский (предс.). М.Е. Никифоров, В.И. Парфенов [и др.]. 4-е изд. Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.

6. Биоразнообразие Березинского биосферного заповедника: сосудистые растения / В.И. Парфенов [и др.]. – Минск : Белорусский Дом печати, 2014. – 280 с.

7. Биологическое разнообразие Полесского радиационно-экологического заповедника: сосудистые растения / Д. В. Дубовик [и др.] ; под ред. акад. В. И. Парфенова. - Минск : Беларуская навука, 2021. – 234 с.

8. Николаева, В. М. Флора Беловежской пущи (сосудистые споровые и семенные растения) / В. М. Николаева, Б. М. Зефиров. – Минск : Ураджай, 1971. - 183 с.

9. Третьяков, Д. И. Дополнения к флоре сосудистых растений Беловежской пущи / Д. И. Третьяков // Ботаника (исследования) / Национальная академия наук Беларуси, Отделение биологических наук, Государственное научное учреждение «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича», Общественное объединение «Белорусское ботаническое общество», Белорусское общественное объединение физиологов растений. – Минск : Право и экономика, 2010. – Вып. 39. – С. 56-114.

10. Дубовик, Д. В. Адвентивные виды сосудистых растений во флоре Национального парка «Беловежская пуща» / Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович // Беловежская пуща. Исследования: сб. науч. ст. / ГПУ «Беловежская пуща»; А.В. Бурый [и др.]. – Брест, 2016. – Вып. 14. – С. 50 – 64.

11. Дубовик, Д. В. Инвазионные виды сосудистых растений во флоре Национального парка «Беловежская пуща» / Д. В. Дубовик, А. Н. Скуратович, М. С. Шабета // Беловежская пуща. Исследования: сб. науч. ст. / ГПУ «Беловежская пуща»; А.В. Бурый [и др.]. – Брест, 2018. – Вып. 16. – С. 65 – 79.

12. Сосудистые растения Национального парка «Припятский» / В.И. Парфенов [и др.]. – Минск: Белорусский Дом печати, 2009. – 208 с.

13. Биологическое разнообразие Национального парка «Браславские озера» : сосудистые растения / Д.В. Дубовик [и др.] ; под ред. В. И. Парфенова; Минск: Белорусский Дом печати, 2011. – 184 с.

14. Состояние и тенденции развития природных экосистем государственного ландшафтного заказника «Мозырские овраги» / В.В. Валетов [и др.]; под общ. ред. В.И. Парфенов. – Мозырь: ООО ИД «Белый Ветер», 2008. – 177

15. Флора и растительность ландшафтного заказника «Ельня» / Д. Г. Груммо, О. В. Созинов, Н. А. Зеленкевич [и др.]; под ред. Н. Н. Бамбалова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экспериментальной ботаники. – Минск: Минсктиппроект, 2010 – 200 с.

16. Третьяков, Д.И. Флора сосудистых растений биосферного резервата «Прибужское Полесье» / Д.И. Третьяков, С.С. Савчук // Фиторазнообразие Восточной Европы / РАН, Ин-т экологии Волжского бассейна, Тольяттинское отделение РБО ; гл. ред. С.В. Саксонов. – Тольятти : Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 2011. – С. 83–130.

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

УДК 574.1:581.55:504.054(476)

Д. Г. ГРУММО, Н. А. ЗЕЛЕНКЕВИЧ,
Е. В. МОЙСЕЙЧИК, А. Н. СКУРАТОВИЧ

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ В РАЙОНЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: zm.hrumo@gmail.com, zeliankevich_nat@mail.ru, e.mojsejchik@gmail.com, arnika-ac@yandex.by

Аннотация. Рассмотрены вопросы динамики биоразнообразия природных экосистем в районе аварии ЧАЭС (1975–2021 гг.). Проведен сравнительный анализ изменения флористического, фитоценотического и биотопического разнообразия. Проанализирован ход современных сукцессионных процессов. Показано, что процессы трансформации биоразнообразия экосистем зоны отчуждения идут преимущественно за счет естественных изменений и антропогенно-стимулированных процессов, связанных с прекращением хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: ЧАЭС, зона отчуждения, ПГРЭЗ, флора, растительность, биотопы, динамика

D. G. GRUMMO, N. A. ZELIANKEVICH, E.V. MOJSEJCHIK, A. N. SKURATOVICH

ASSESSMENT OF DYNAMIC CHANGES IN FLORA AND VEGETATION OF THE ACCIDENT AREA AT THE CHERNOBYL NPP

Institute of Experimental Bonany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, zm.hrumo@gmail.com, zeliankevich_nat@mail.ru, e.mojsejchik@gmail.com, arnika-ac@yandex.by

Annotation. The dynamics of biodiversity of natural ecosystems in the area of the Chernobyl accident (1975–2021) is considered in the article. A comparative analysis of changes in floristic, phytocenotic and biotopic diversity has been carried out. As a result, it is shown that the processes of transformation of the biodiversity of ecosystems in the exclusion zone are mainly due to natural changes and anthropogenically stimulated processes associated with the termination of economic activity.

Keywords: Chernobyl NPP, exclusion zone, PSRER, flora, vegetation, biotopes, dynamics

Введение. Выделенная вокруг Чернобыльской АЭС 30-км зона отчуждения представляет собой уникальный научный полигон, который может служить экспериментальным полем для разноплановых научных исследований в течение сотен лет. При этом особый научный интерес представляют природные биогеоценозы, являющиеся естественными биогеохимическими стабилизаторами и регуляторами радиоэкологической обстановки в зоне аварии [1].

Цели и задачи. В последние годы вопросы динамики биоразнообразия экосистем (разнообразие видов, сообществ, биотопов) в зоне аварии

на ЧАЭС практически не освещаются. В настоящее время внимание ученых сконцентрировано преимущественно на изучении вопросов биогеохимии техногенных радионуклидов в природных экосистемах, лесовозобновления, морфогенеза, ростовых процессов и морфолого-анатомических особенностей древесных растений. Вместе с тем, спустя более 30 лет после аварии, накопился большой фактический материал наземных исследований, данных дистанционного зондирования, анализ которых позволил нам определить некоторые направления динамики биоразнообразия экосистем в границах белорусского участка зоны отчуждения.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили в современных границах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Заповедник включает территории Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов Гомельской области между 51° 20′–51° 50′ северной широты и 29° 30′–30° 30′ восточной долготы. Южная граница проходит вдоль государственной границы с Украиной. Площадь района исследования составляет 216,2 тыс. га.

Объектами исследований являлись ключевые элементы разнообразия экосистем: флора, растительность.

В основу исследований положены как классические методы изучения флоры и растительности, так и современные, основанные на использовании данных дистанционного зондирования.

Результаты и обсуждение

ФЛОРА

Согласно последним данным ПГРЭЗ, в настоящее время в границах заповедника произрастает 1157 видов высших сосудистых растений (табл. 1). Исследования, проведенные в различные годы, демонстрируют поступательное увеличение количества видов сосудистых растений: с 885 (2002 г.) до 1157 (2020 г.) (рис. 1). Это связано, по-видимому, с «запуском» восстановительных процессов растительного покрова после эвакуации населения и полного прекращения хозяйственной деятельности. Однако при этом нельзя исключить и факт расширения масштабов полевых исследований с охватом ранее неизученных и труднодоступных участков радиационно-экологического заповедника, что безусловно отразилось на количественных показателях флоры.

Во флоре ПГРЭЗ обнаружены популяции 45 видов, внесенных в Красную книгу Республики Беларусь [2]. в т.ч. категории I (CR) – 5 видов (11%), II (EN) – 4 (9%), III (VU) – 19 (42%), IV (NT) – 17 (38%) (рис. 2). По сравнению с первым системным флористическим обследованием территории заповедника количество охраняемых видов растений выросло в 2 раза – с 20 (2000 г.) до 45 (2020 г.). Профилактический режим охраны [2] рекомендован для 20 видов флоры.

Таблица 1. Сравнительная характеристика таксономического и типологического разнообразия растительного покрова и местообитания ПГРЭЗ и других ООПТ

Table 1. Comparative characteristics of taxonomic and typological diversity of vegetation cover and habitat of PSRER and other protected areas

Показатель Index	Полесский ГРЭЗ Polesskiy SRER	ООПТ фоновых территорий SPA of background areas	
		НП «Нарочанский» NP «Narochansky»	НП «Беловежская пуща» NP «Belovezhskaya Pushcha»
Количество видов сосудистых растений Number of vascular plant species	1157	1030	1024
из них охраняемых / of them protected	45	115	97
Количество наземных растительных сообществ Number of terrestrial plant communities	41	56	50
Количество наземных биотопов (по EUNIS) Number of terrestrial biotopes (according to EUNIS)	34	47	47
Количество **исчезающих типов естественной среды обитания, внесенных в приложение** I **к резолюции № 4 (1996) Бернской конвенции** Number of endangered natural habitats listed in Annex I to Resolution No. 4 (1996) of the Berne Convention	12	25	18
Доля **исчезающих типов естественной среды обитания, внесенных в приложение** I **к резолюции № 4 (1996) Бернской конвенции в общей площади** / Proportion of endangered natural habitats listed in Annex I to resolution No. 4 (1996) of the Berne Convention in the total area	17,4	41,3	57,8

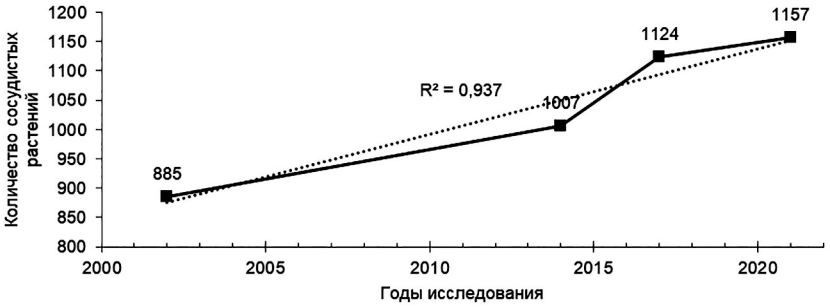


Рис. 1. Изменение количества видов сосудистых растений во флоре ПГРЭЗ (по обобщенным данным [3–5 и др.])

Fig. 1. Change in the number of species of vascular plants in the flora of the PSRER (according to generalized data [3–5, etc.])

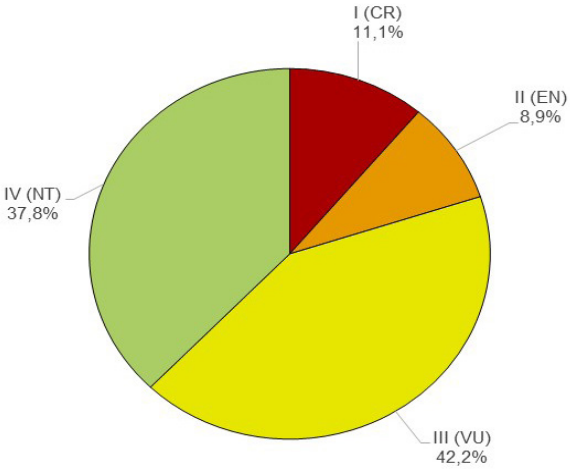


Рис. 2. Распределение видов растений ПГРЭЗ
по категориям охраны Красной книги Республики Беларусь

Fig. 2. Distribution of plant species of the PSRER according
to protection categories of the Red Book of the Republic of Belarus

Сравнительная оценка флористического разнообразия территории ПГРЭЗ с некоторыми особо охраняемыми территориями (ООПТ) фоновых (т.е. незагрязненных радионуклидами) условий, показала, что по количеству сосудистых растений флора заповедника превосходит большинство сравниваемых природных аналогов (рис. 3).

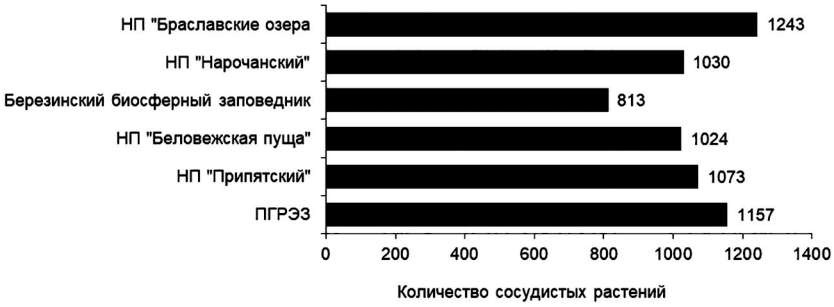


Рис. 3. Сравнительная оценка количества видов флоры
сосудистых растений ПГРЭЗ и ООПТ фоновых территорий

Fig. 3. Comparative assessment of the number of vascular plants species
in the PSRER and protected areas of territories not contaminated with radionuclides

Противоположную картину мы видим при оценке более важного индикатора биоразнообразия – количество охраняемых видов дикорастущих растений. Территория ПГРЭЗ значительно уступает в сравниваемой выборке 45 против 97 (в национальном парке (НП) «Беловежская пуща») и 115 (в национальном парке «Нарочанский») (табл. 1). Это свидетельствует, что в настоящее время структура растительного покрова еще находится в процессе восстановления, не достигла параметров естественного состояния, обеспечивающее устойчивое сохранение регионального биоразнообразия. Более того следует предположить, что с учетом выявленных направлений динамики, природных условий формирования растительного покрова, а также эколого-фитоценотической приуроченности (рис. 4) количество охраняемых видов растений достигла некоторого оптимума и можно прогнозировать даже сокращение количества (до 28–30) охраняемых видов, за счет выпадения из состава ценозов опушечных, луговых и болотных видов, вследствие формирования лесной структуры на ранее нелесных землях.

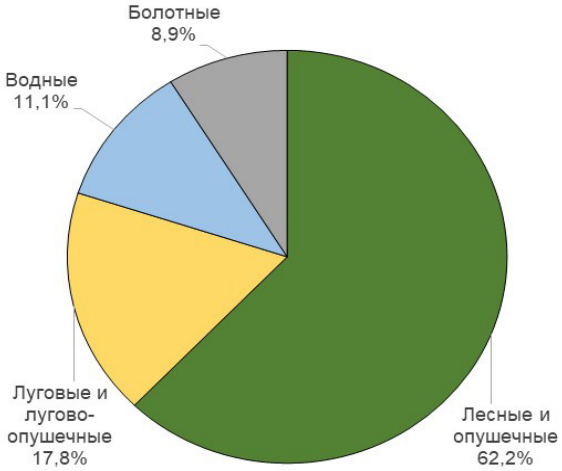


Рис. 4. Распределение охраняемых видов растений ПГРЭЗ по эколого-фитоценотическим группам

Fig. 4. Distribution of protected plant species of the PSRER by ecological-phytocenotic groups

Пространственная изоляция территории ПГРЭЗ привела к тому, что здесь уровень синантропизации флоры сохранился на уровне конца 1980-х гг., что значительно ниже чем в целом по стране. В радиационно-экологическом заповеднике выявлено 42 вида или 79 % из числа видов, которые признаны в Беларуси агрессивными инвазионными видами (всего 53) [4, 6, 7]. Для сравнения для территории НП Беловежская пуща данный показатель составил 45 видов (84,9 %). Установлено, что инвазионная активность этих

42 видов в пределах модельной территории неоднородная. К видам-трансформерам (растения, которые приводят к коренной трансформации растительного покрова) можно отнести 8 таксонов во флоре ПГРЭЗ: череда олиственная (*Bidens frondosus*), клен ясенелистный (*Acer negundo*), робиния ложноакациевая (*Robinia pseudoacacia*), мелколепестники однолетний и северный (*Phalacroloma annuum, Ph. septentrionale*), облепиха крушиновидная (*Hippophaë rhamnoides*), топинамбур (*Helianthus tuberosus*), рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*).

Центрами закрепления и проникновения инвазионных видов в пределах ПГРЭЗ являются бывшие населенные пункты (которых до аварии на ЧАЭС было 96), пустошные земли, бывшие пашни, линейные объекты (дороги) и другие антропогенные местообитания. В пределах лесных массивов слабо нарушенных хозяйственной деятельностью роль инвазионных видов минимальна.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Схема исследования фитоценотического разнообразия и его динамики состояла из 3 блоков.

Блок 1. ***Картографирование и анализ процессов динамики лесного растительного покрова с использованием архива спутниковых данных программы Landsat.***

В основу оценки динамики лесного растительного покрова ПГРЭЗ были положены результаты исследований лесов Восточной Европы, размещенные в открытом доступе [8]. Авторами был разработан оригинальный алгоритм обработки снимков и создания временных серий изображений, который позволяет картографировать общую лесопокрытую площадь, ее потери и прирост [9, 10]. Для анализа использовались снимки Landsat, полученные из глобального архива и выбранные только в пределах вегетационного сезона. Модель для нормализации значения спектральной яркости основывалась на разнице между спектральной яркостью данных Landsat и многолетних средних значений спектральной яркости по данным MODIS. Полученные данные использовались для создания попиксельных временных серий наблюдений, которые были трансформированы в наборы «метрик», использованные в дальнейшем для картографирования динамики лесного покрова [9].

Результаты динамики лесного растительного покрова Полесского радиационно-экологического заповедника (за период 1985–2020 гг.), полученные на основе алгоритма использования разновременных спутниковых данных представлены в таблицах 2 и 3 и проиллюстрированы на рисунках 5-8. Анализируя полученные данные, следует отметить, что стабильные лесные земли в настоящее время занимают 83944,1 га или 38,8 % территории ПГРЭЗ; лесные земли, сформированные на ранее нелесных землях – 47776,2 га (22,1 %). Потери лесов (в результате ветровалов, пожаров, повреждения фитовредителями и других неблагоприятных воздействий естественного и антропогенного происхождения) выявлены на площади 5742,3 га (2,7 %); потери лесов с последующим формированием

лесной структуры (посадки лесных культур, естественное лесозарастание) – 803,4 га (0,4 %).

Таблица 2. Структура и динамика лесного покрова территории ПГРЭЗ (1985–2020 гг.)

Table 2. The structure and dynamics of the forest cover of the territory of the PSRER (1985–2020)

Категория земель Land category	Площадь Area	
	га / ha	%
Стабильные лесные земли / Stable forest lands	83944,1	38,8
Лесные земли, сформированные на ранее (по состоянию на 1985 г.) нелесных землях / Forested lands formed on previously (as of 1985) non-forested lands	47776,2	22,1
Потери лесов (в последние годы) / Loss of forests (in recent years)	5742,3	2,7
Потери лесов с последующим ростом леса / Forest loss with subsequent forest growth	803,4	0,4
Участки лесного фонда с чередованием потери и прироста леса / Forest areas with alternating forest loss and gain	33,0	<0,1
Потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г. / Forest loss in areas that acquired forest cover after the non-forest state in 1985	31,1	<0,1
Земли с отсутствием или начальными стадиями лесообразовательного процесса / Lands with no or early stages of forest formation	77851,9	36,0

Таблица 3. Потери лесов на территории ПГРЭЗ за период 1985–2020 гг.

Table 3. Losses of forests on the territory of PSRER for the period 1985–2020

Временной период, годы Time period, years	Площадь Area	
	га / ha	% от площади ПГРЭЗ / % of the area of PSRER
1986–1988	3272,1	1,5
1989–2000	2944,6	1,3
2001–2006	1564,6	0,7
2007–2012	768,6	0,4
2013–2020	4981,0	2,3
ВСЕГО: / TOTAL:	**13538,0**	**6,2**

На незначительной площади лесного фонда (<0,1%) выявлены участки, на которых за рассматриваемый период наблюдалось чередование гибели и прироста леса, а также потери лесов на участках, которые приобрели лесной покров после нелесного состояния в 1985 г. Земли с отсутствием или начальными стадиями лесообразовательного процесса занимают 77851,9 га или 36,0% исследуемой территории.

Потери леса на исследуемой территории по ревизионным периодам составили: 3272,1 га (1986–1988 гг.); 2944,6 га (1989–2000 гг.), 1564,6 г (2001–2006 гг.), 768,9 (2007–2012 гг.), 4981,0 га (2013–2020 гг.). При этом обращает резкое увеличение гибели лесов в последние годы, что связано прежде всего с воздействием комплекса естественных факторов (засухи, вредители хвойных лесов, пожары).

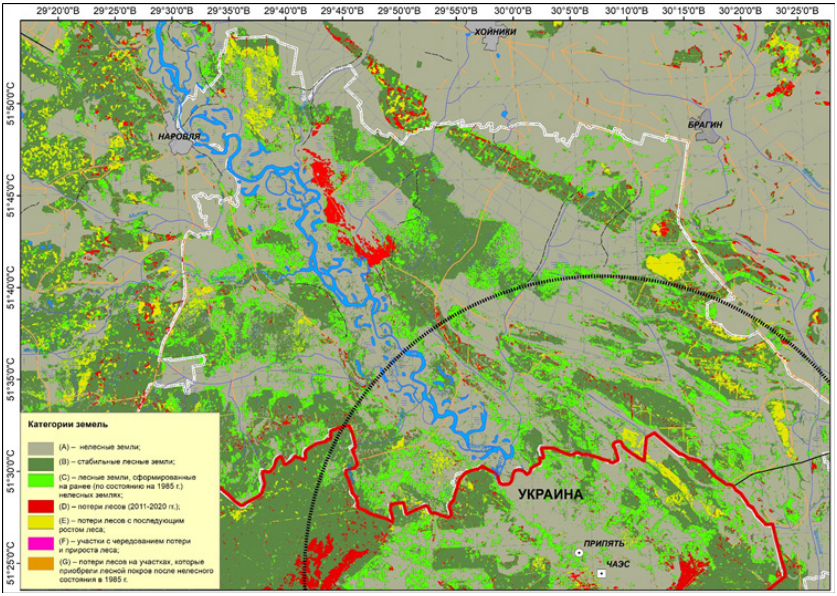


Рис. 5. Изменение лесного растительного покрова ПГРЭЗ и прилегающих территорий за период 1985–2020 гг. (сост. по данным [8])

Fig. 5. Change in the forest vegetation cover of the PSRER and adjacent territories for the period 1985–2020 (according to [8])

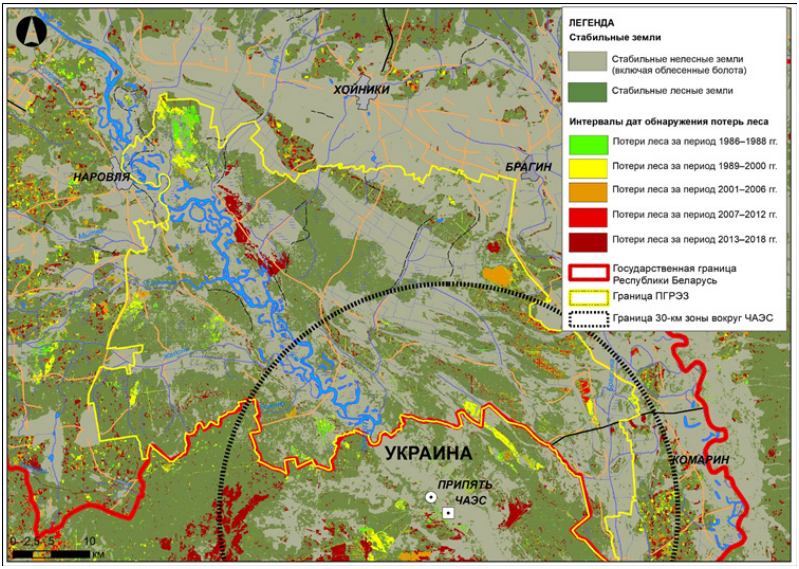


Рис. 6. Потери лесов в границах ПГРЭЗ
и прилегающих территорий за период 1985–2020 гг.

Fig. 6. Forests loss of within the boundaries of the PSRER
and adjacent territories for the period 1985–2020.

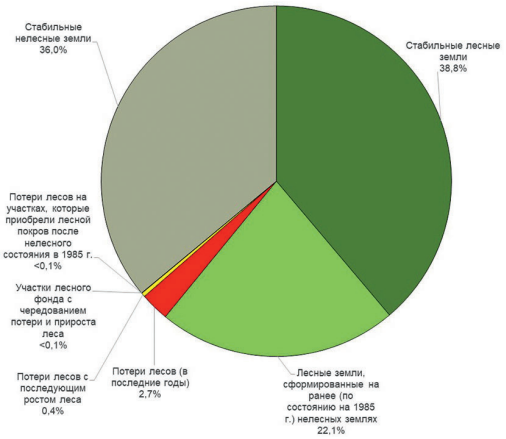


Рис. 7. Изменение лесного растительного покрова ПГРЭЗ
и прилегающих территорий за период 1985–2020 гг. (составлено по данным [8])

Fig. 7. Change in the forest vegetation cover of the PSRER
and adjacent territories for the period 1985–2020 (compiled according to [8])

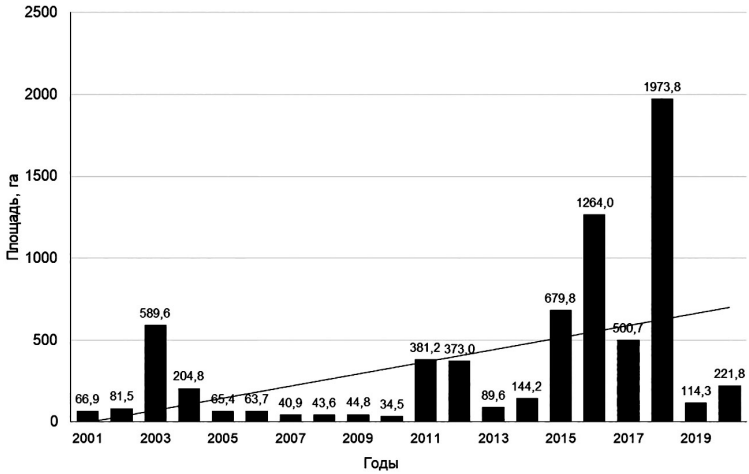


Рис. 8. Потери лесов на территории ПГРЭЭ за период 1985–2020 гг.

Fig. 8. Forests loss on the territory of PSRER for the period 1985–2020

Блок 2. ***Обобщение и анализ архивных картографических материалов, характеризующих структуру наземной растительности в доаварийный период.***

Вместе с тем, стоит признать, что спутниковые данные программы Landsat (с довольно низким пространственным разрешением) позволяют диагностировать динамические процессы только на высоких иерархических уровнях организации растительного покрова (тип растительности). Использование только спутниковой информации без проведения наземных исследований и привлечения различных фондовых источников резко снижает их картографическую ценность. Поэтому на втором этапе исследований нами с использованием фондовых архивные материалы и выборочных наземных исследований выполнялись следующие работы:

- изучались имеющиеся для исследуемой территории архивные проекты лесо- и землеустройства, технико-экономические обоснования проведения хозяйственных и/или природоохранных мероприятий;
- обрабатывались архивные геоботанические описания и создавалась фитоценотическая база данных;
- сканировались и трансформировались растровые изображения исходных архивных материалов (среднемасштабная карта растительности М 1:300 000 (1975 г.);
- уточнялось пространственное распределение типов растительных сообществ (на основе неконтролируемой классификации сцен из архива спутниковой съемки Landsat);
- создавалась цифровая геоботаническая карты исследуемой территории в доаварийный период (по состоянию на 1975 г.);

● рассчитывались площади наземных типов растительных сообществ, с использованием модуля ArcGIS;

● составлялись электронные ведомости, содержащие информацию о структуре растительности в доаварийный период (лесистость, распределение лесопокрытой площади формациям, сериям и группам типов леса).

В результате исследований установлено, что в фоновый период (1975 г.) леса занимали 83,4 тыс. га (лесистость – 38,5%) (рис. 9, табл. 4). Структура лесной растительности района исследования определялась комплексом естественных и антропогенных факторов. Обзор литературных источников [11, 12], геоботанической карты [13] и аналитических материалов позволяет свести основные черты лесной растительности исследуемой территории в доаварийный период к следующим выводам:

● преобладание бедных песчаных почв обусловило исключительное распространение сосновых лесов (56,6% лесопокрытой территории);

● распространение отрицательных форм рельефа, а также специфика гидрологического режима определяют довольно значительное распространение формаций болотных лиственных лесов (14,6%);

● относительно высоким участием характеризовались широколиственные леса (12,7%), встречавшиеся компактными участками среди сосновых и лиственных лесов;

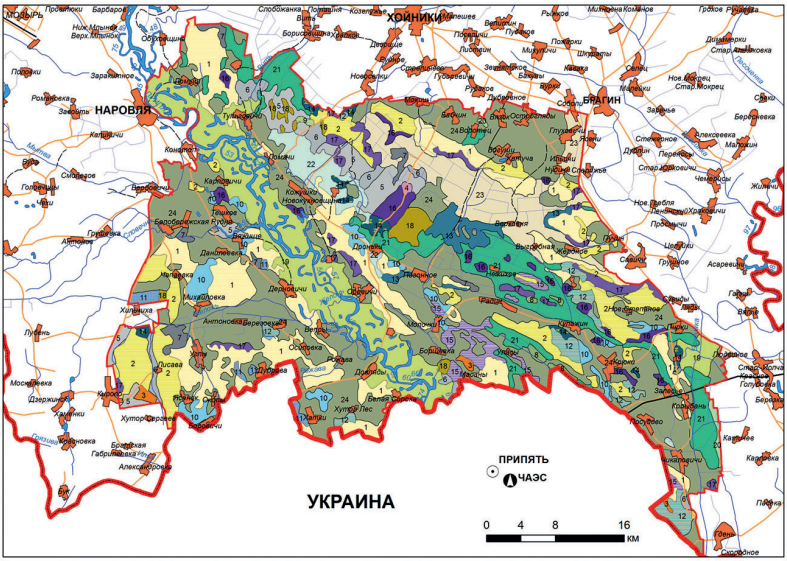


Рис. 9. Карта растительности территории ПГРЭЗ в доаварийный период (по состоянию на 1975 г.)

Fig. 9. Map of vegetation of the PSRER territory in the pre-accident period (as of 1975)

Таблица 4. Легенда* карты и структура
наземной растительности ПГРЭЗ в доаварийный период (1975)

Table 4. Legend* of the map and structure
of terrestrial vegetation of PSRER in the pre-accident period (1975)

№	Категории Categories	Площадь Area	
		га / ha	%
	ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ / FOREST VEGETATION	**83383,3**	**38,6**
	ХВОЙНЫЕ ЛЕСА / *CONIFEROUS FORESTS*	**47299,8**	**21,9**
	Сосновые и сосново-дубовые (*Pinus sylvestris*, *Quercus robur*) леса Pine and pine-oak forests	**47159,9**	**21,8**
1.	Сосновые лишайниково (*Cladonia sylvatica, Cl. rangiferina*) – вересковые (*Calluna vulgaris*) леса / Pine lichen-heather forests	30726,8	14,2
2.	Сосновые кустарничково (*Vaccinium vitis-idaea, Arctostaphylos uva-ursi, Calluna vulgaris*) – зеленомошные (*Pleurosium schreberi, Dicranum polysetum, D. scoparium*) леса / Pine shrub- green moss forests	15858	7,3
3.	Сосновые зеленомошно (*Pleurosium schreberi, Dicranum polysetum, D. scoparium, Hylocomium proliferum*) – черничные (*Vaccinium myrtillus*) леса в сочетании с кустарничково (*Vaccinium myrtillus, V. uliginosum*) – долгомошными (*Polytrichum commume, P. formosum*) Pine green moss- blueberry forests in combination with subshrub- long moss	575,1	0,3
	ШИРОКОЛИСТВЕННО-ЕЛОВЫЕ ЛЕСА (*Picea abies*, *Quercus robur*) / *BROAD-LEAVED-SPRUCE FORESTS*	**139,9**	**0,1**
4.	Широколиственно-еловые зеленомошно (*Hylocomium proliferum, Dicranum polysetum, D. scoparium,Ptilium crista-castrensis, Pleurosium schreberi*) – черничные (*Vaccinium myrtillus*) леса в сочетании со снытевыми (*Aegopodium podagraria*) Broad-leaved-spruce green moss- blueberry forests in combination with ground elder	139,9	0,1
	ШИРОКОЛИСТВЕННЫЕ ЛЕСА / *BROAD-LEAVED FORESTS*	**10587,8**	**4,9**
	Дубравы (*Quercus robur)* / Oak forests	**10587,8**	**4,9**
5.	Дубравы грабово (*Carpinus betulus*) – орляково (*Pteridium aquilinum*) – черничные (*Vaccinium myrtillus*) / Oak hornbeam- bracken- blueberry forests	6027,6	2,8
6.	Дубравы грабово (*Carpinus betulus)* – снытево (*Aegopodium podagraria*) – кисличные (*Oxalis acetosella*) / Oak hornbeam- ground elder – oxalis forests	2678	1,2
7.	Дубравы пойменные монодоминантные со значительным участием в древостое *Alnus glutinosa, Fraxinus excelsior,* а в подлеске – *Ribes nigrum, R. pubescens, Salix aurita, S. cinerea, Padus racemosa* Floodplain monodominant oak forests	1882,2	0,9

Продолжение табл. 4

№	Категории Categories	Площадь Area	
		га / ha	%
	МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЛЕСА ***SMALL-LEAVED DERIVED FORESTS***	**13292,9**	**6,1**
	Осиновые леса (*Populus tremula)* / Aspen forests	**732,0**	**0,4**
8.	Осиновые черничные (*Vaccinium myrtillus*) леса в сочетании с бруснично (*Vaccinium vitis-idaea*)- зеленомошными (*Pleurosium schreberi, Dicranum scoparium, D. polysetum)* Aspen blueberries forests combined with cowberry- green moss	593,5	0,3
9.	Осиновые кисличные (*Oxalis acetosella*) леса в сочетании со снытевыми (*Aegopodium podagraria*) и крапивно (*Urtica dioica*) – папоротниковыми (*Dryopteris filix-mas, D. cristata, Athyrium filix-femina)* Aspen oxalis forests in combination with ground elder and nettle- ferns	138,5	0,1
	Бородавчатоберезовые (*Betula pendula*) леса / Birch forests	**12560,9**	**5,7**
10.	Бородавчатоберезовые бруснично (*Vaccinium vitis-idaea*) – зеленомошные леса (*Pleurosium schreberi, Dicranum polysetum, D. scoparium*) в сочетании с лишайниково (*Cladonia sylvatica, Cl. rangiferina*) – вересковыми (*Calluna vulgaris*) на месте полесских сосновых лесов Birch cowberry- green moss forests in combination with lichen-heather forests in the place of Polissya pine forests	4630,7	2,1
11.	Бородавчатоберезовые зеленомошно (*Pleurosium schreberi, Dicranum polysetum, D. scoparium, Hylocomium proliferum*) – черничные (*Vaccinium myrtillus*) в сочетании с кустарничково (*Vaccinium uliginosum*) – долгомошными (*Polytrichum commume, P. formosum*) на месте полесских сосновых и широколиственных лесов Birch green moss- blueberry forests in combination with subshrub-moss forests in the place of Polesie pine and broad-leaved forests	1141,8	0,5
12.	Бородавчатоберезовые орляково (*Pteridium aquilinum*) – зеленомошно (*Pleurosium schreberi, Dicranum polysetum, D. scoparium, Hylocomium proliferum*) – кисличные (*Oxalis acetosella*) леса в сочетании со снытевыми (*Aegopodium podagraria*) на месте полесских широколиственно-сосновых, широколиственно-еловых и широколиственных лесов / Birch bracken- green moss- oxalis forests in combination with ground elder in the place of Polesie broad-leaved pine, broad-leaved spruce and broad-leaved forests	3883,6	1,8
13.	Бородавчатоберезовые крапивные (*Urtica dioica*) леса в сочетании с приручейно- папоротниковыми (*Dryopteris filix-mas, D. cristata, D. carthusiana, Athyrium filix-femina*) на месте полесских широколиственно-черноольхово-еловых и широколиственных лесов Birch nettle forests in combination with riverine-ferns in the place of Polesie broad-leaved- black alder- spruce and deciduous forests	2904,8	1,3
	ЛИСТВЕННЫЕ БОЛОТНЫЕ ЛЕСА ***DECIDUOUS SWAMP FORESTS***	**12202,8**	**5,7**
	Пушистоберезовые (*Betula pubescens*) леса / Downy birch forests		

Продолжение табл. 4

№	Категории Categories	Площадь Area	
		га / ha	%
14.	Пушистоберезовые осоковые (*Carex cespitosa, C. canescens, C. nigra, C. elongata, C. appropinquata, C. vesicaria, C. flava*) леса в сочетании с ивняковыми (*Salix cinerea, S. aurita, S. lapponum, S. rosmarinifolia*) на низинных болотах / Downy birch sedge forests in combination with willow forests in fens	1772,1	0,8
	Черноольховые (*Betula pubescens*) леса / Black alder forests	**10430,7**	**4,9**
15.	Черноольховые крапивные (*Urtica dioica*) леса в сочетании с кислично (*Oxalis acetosella*) – снытевыми (*Aegopodium podagraria*) на месте полесских широколиственно-еловых и широколиственных лесов Black alder nettle forests in combination with oxalis- ground elder in the place of Polissya broad-leaved-spruce and broad-leaved forests	2927,1	1,4
16.	Черноольховые травяно (*Menyanthes trifoliata, Calla palustris, Lysimahia vulgaris, Iris pseudacorus*)– осоковые (*Carex elongata, C. nigra, C. vesicaria, C. acuta*) леса в сочетании с болотнопапоротниковыми (*Thelypteris palustris*) на низинных болотах Black alder herb-sedge forests in combination with bog-fern forests in fens	3569	1,7
17.	Черноольховые таволговые (*Filipendula ulmaria*) леса в сочетании с приручейно (*fontinale*) – разнотравными (*Solanum dulcamara, Calla palustris, Iris pseudacorus, Lysimachia vulgaris, Thelypteris palustris*) на низинных болотах Black alder meadowsweet forests in combination with riverine-forbs in fens	3934,6	1,8
	ЛУГОВАЯ И БОЛОТНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ MEADOW AND MIRE VEGETATION	**46421,7**	**21,5**
18.	Болота низинные разнотравно (*Caltha palustris, Comarum palustre, Equisetum fluviatile, Menyanthes trifoliata, Thelypteris palustris, Iris pseudacorus*) – злаково (*Calamagrostis lanceolata, C. neglecta, Glycera maxima, G. fluitans, Phragmites australis)* – осоковые (*Carex omskiana, C. rostrata, C. diandra, C. appropinquata, C. canescens, C. diandra, C. vesicaria, C. acuta*) с небольшими участками лугов и лесов; полесские с ивовым ярусом / Fens forb-grass-sedge with small areas of meadows and forests; Polessye fens with willow layer	2121,9	1,0
19.	Луга пойменные злаковые (*Agrostis canina, Poa palustris, Alopecurus pratensis*) остепненные с участками гидромезофитных (*Eleocharis palustris*) лугов / Floodplain gramineous steppe meadows with areas of hydromesophytic meadows	21893,2	10,1
20.	Луга внепойменные злаковые (*Agrostis tenuis, Anthoxanthum odoratum, Nardus stricta, Festuca rubra, Briza media*) суходольные с участками низинных лугов (*Agrostis canina, Deschampsia cespitosa, Carex panacea, C. nigra, C. flava*) / Non-floodplain gramineous upland meadows with areas of lowland meadows	492,4	0,2

Окончание табл. 4

№	Категории Categories	Площадь Area	
		га / ha	%
21.	Разнотравно-злаково-осоковые и разнотравно-осоково-злаковые болота и заболоченные луга (*Carex nigra, C. panicea, C. diandra, C. acuta, Glyceria maxima, Gl. fluitans, Iris pseudacorus, Calamagrostis lanceolata*) с участием злаковых суходольных и молиниевых лугов (*Molinia caerulea*) Forb-gramineous-sedge and forb-sedge-gramineous bogs and boggy meadows with the participation of gramineous upland and purple moor-grass meadows	17444,2	8,1
22.	Гипново-осоковые и осоково-гипновые болота (*Carex rostrata, C. vesicaria, C. dioica, C. nigra, C. pallescens, C. diandra*) *иногда с пятнами сфагновых мхов* (*Sphagnum riparium, Sph. centrale*) / Hypnum-sedge and sedge-hypnum bogs sometimes with spots of sphagnum moss	4470	2,1
	***СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ЗЕМЛИ* / AGRICULTURAL LAND**	**76409,0**	**35,3**
23.	Пахотные земли, культурные сенокосы и пастбища на месте осушенных низинных и переходных болот / Arable land, cultivated hayfields and pastures in the place of drained fens and transitional mires	12827,9	5,9
24.	Сельскохозяйственные земли на минеральных почвах Agricultural land on mineral soils	63581,1	29,4
	ПРОЧИЕ ЗЕМЛИ, ВОДЫ / **OTHER LAND, WATER**	**9968,0**	**4,6**

*Легенда приводится в оригинальном варианте 1975 г. / The legend is in the original 1975 version

● ельники были распространены фрагментарно (0,2 %) и встречались в немногочисленных островах за пределами южной границы сплошного распространения вида-эдификатора ценозов;

● интенсивное хозяйственное использование территории определило высокое участие (15,5 % лесопокрытой площади) производных мелколиственных лесов;

В целом в доаварийный период формационная структура лесов зоны отчуждения была близка к фоновой лесной растительности Южно-Полесского геоботанического района, но характеризовалась повышенным участием вторичных мелколиственных лесов (табл. 5).

В отношении распространения других типов наземной растительности следует отметить, что в доаварийный период:

● луговая растительность занимала 31,4 тыс. га (14,5 %) и была представлена пойменными и суходольными (внепойменными) типами;

● среди лугов преобладали пойменные злаковые остепненные луга (21,9 тыс. га – 10,1 %);

Таблица 5. Сравнительная характеристика формационной структуры лесов ПГРЭЗ и Южно-Полесского геоботанического района в до- и послеаварийный период, % лесопокрытой площади

Table 5. Comparative characteristics of the formational structure of the forests of the PSRER and the South Polessie geobotanical region in the pre- and post-emergency period, % of the forest-covered area

Леса Forests	До аварии (1975 г.) Before the accident (1975)		После аварии After the accident		
	зона отчуждения exclusion zone [13]	геоботанический район geobotanical area [11]	зона отчуждения exclusion zone [14]		геоботанический район / geobotanical area [15]
			2011	2021	
Сосновые / Pine	56,5	67,2	43,2	47,4	60,9
Еловые / Spruce	0,2	0,2	<0,1	<0,1	0,1
Дубовые / Oak	12,7	10,4	6,2	8,1	5,6
Ясеневые / Ash	–	0,1	0,6	0,8	0,1
Грабовые / Hornbeam	–	0,3	0,3	0,3	0,2
Бородавчатоберезовые / Birch	14,6	6,5	28,1	23,9	20,3
Осиновые / Aspen	0,9	1	0,5	0,4	0,6
Пушистоберезовые Downy birch	2,1	7,4	1,9	1,6	2,1
Черноольховые / Black alder	12,5	6,9	12,3	11,1	8,1
Прочие / Other	–	–	6,9	6,4	2

Примечание. Прочерк означает отсутствие сведений / A dash means no information

● болотная растительность была представлена сообществами низинных болот (24,0 тыс. га – 11,2 %), распространенными преимущественно в северной части;

● площадь сельскохозяйственных земель была значительной (76,4 тыс. га – 35,3 %), в т.ч. пахотные земли, культурные сенокосы и пастбища на месте осушенных низинных и переходных болот – 12,8 тыс. га (5,9 %), сельскохозяйственные земли на минеральных почвах – 63,6 тыс. га (29,4 %).

Блок 3. ***Обобщение и анализ архивных картографических материалов, характеризующих структуру наземной растительности в послеаварийный период.***

В ходе научных исследований проводились следующие работы:

● изучение имеющихся для исследуемой территории проектов лесо- и землеустройства, технико-экономических обоснований проведения хозяйственных и/или природоохранных мероприятий, обработки документов по освоению лесного фонда, пожарам и т.д.;

● совмещение на платформе ГИС разновременных производных спутниковых, тематических и картографических продуктов (рис. 10);

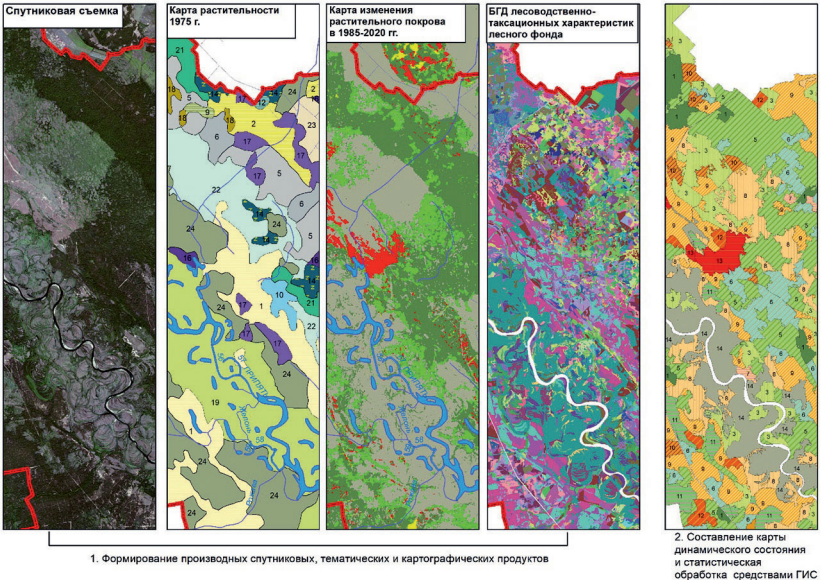


Рис. 10. Совмещение на платформе ГИС производных спутниковых, тематических и картографических продуктов и составление карты динамического состояния ПГРЭЗ.

Fig. 10. Combining satellite, thematic and cartographic products on the GIS platform and compiling a map of the dynamic state of the PSRER.

● составление современной карты динамического состояния лесной растительности на основе материалов лесоустройства, данных дистанционного зондирования и выборочного наземного эталонирования. В качестве базовой карты использовалась крупномасштабная карта растительности в доаварийный период, вспомогательным материалом служили: 1) карта изменений лесного растительного покрова (гибель лесов, зарастание ранее нелесных земель, дигрессионно-демутационные процессы на выбывших из хозяйственного оборота нелесопокрытых землях); 2) актуальная база геоданных лесоводственно-таксационных характеристик лесного фонда, содержащие сведения о категории земель, происхождении, возрасте и составе лесных насаждений, их типологической структуре, а также проведенных хозяйственных мероприятий;

● составление инвентаризационных ведомостей, содержащих информацию о структуре растительности в послеаварийный период, анализ полученных результатов, формирование выводов и заключений по вопросам состояния и динамики лесных и других наземных экосистем модельной территории.

Результаты исследований показали, что эвакуация всего населения, прекращение хозяйственной деятельности вследствие аварии на ЧАЭС, а также обширные пожары в 1990-х годах прошлого столетия вызвали значительные изменения в структуре растительного покрова зоны отчуждения. Динамические процессы в зоне отчуждения затрагивают все иерархические ступени организации лесного растительного покрова (тип растительности, группа формаций, формация, тип леса) и обусловлены, прежде всего, устранением хозяйственной деятельности.

В доаварийный период (1975 г.) структура земельного фонда современной территории ПГРЭЗ была следующей (рис. 10): леса занимали 38,6 %, луга – 14,5 %, болота – 7,0 %, сельскохозяйственные земли – 35,3 % (в т. ч. на осушенных торфяно-болотных почвах – 5,9 %), воды – 1,6 %, прочие земли – 3,0 %.

Спустя 35 лет после аварии (рис. 10) доля лесных земель в пределах исследуемой территории составила 60,6% (+22,1% по отношению к доаварийному периоду), лугов – 4,0% (–10,5%), болот – 11,0% (+4,0%). На месте бывших сельскохозяйственных земель сформировались пустоши и бросовые земли (9,3%), кустарниковые заросли (11,8%), а также леса и болота.

Рассмотрим более детально основные направления трансформации растительного покрова по основным типам.

Лесная растительность. Узловым моментом демутационных сукцессий является увеличение лесопокрытой территории (рис. 11). Лесистость зоны отчуждения по сравнению с фоновым периодом (1975 г.) имела тенденцию поступательного увеличения и составила в 1990 г. – 45,1% (+6,9%); в 2000 г. – 50,9% (+12,4%); в 2011 г. – 55,9 (+17,4%), в 2020 – 60,6% (+22,1%). Темп облесения зоны отчуждения составил в среднем 0,47% в год, в т.ч. по периодам: 1975–1990 гг. – 0,41%; 1991–2000 гг. – 0,58%; 2001–2011 гг. – 0,48%, 2012–2020 гг. – 0,47%.

Современная формационная структура лесов (на 2020 г.) зоны отчуждения характеризуется преобладанием сосновых (47,4 % лесопокрытой территории) и бородавчатоберезовых (23,9 %) лесов. Относительно высоким участием характеризуются черноольховые (11,1 %) и дубовые (8,1 %) насаждения. Фрагментарно представлены ясеневые (0,8 %), грабовые (0,3 %), пушистоберезовые (1,6 %), осиновые (0,4 %), еловые (<0,1 %) леса.

Динамика формационной структуры лесной растительности (рис. 13) в послеаварийный период характеризуется резким ростом участия производных мелколиственных лесов. По сравнению с фоновым периодом их площадь увеличилась в 3,4 раза и составила 43 тыс. га, или 20,6 % площади зоны отчуждения. Наряду с производными березовыми лесами, площадь которых увеличилась в 2,8 раз (с 12,1 до 34,5 тыс. га), активный характер распространения имеют фитоценозы эдификатором в которых являются синантропные древесные растения (*Robinia pseudoacacia*, *Malus* spp., *Acer negundo*, др.). Доля этих лесов поступательно растет: 2,7 % (2000) <3,9 % (2011) <4,3 % (2020).

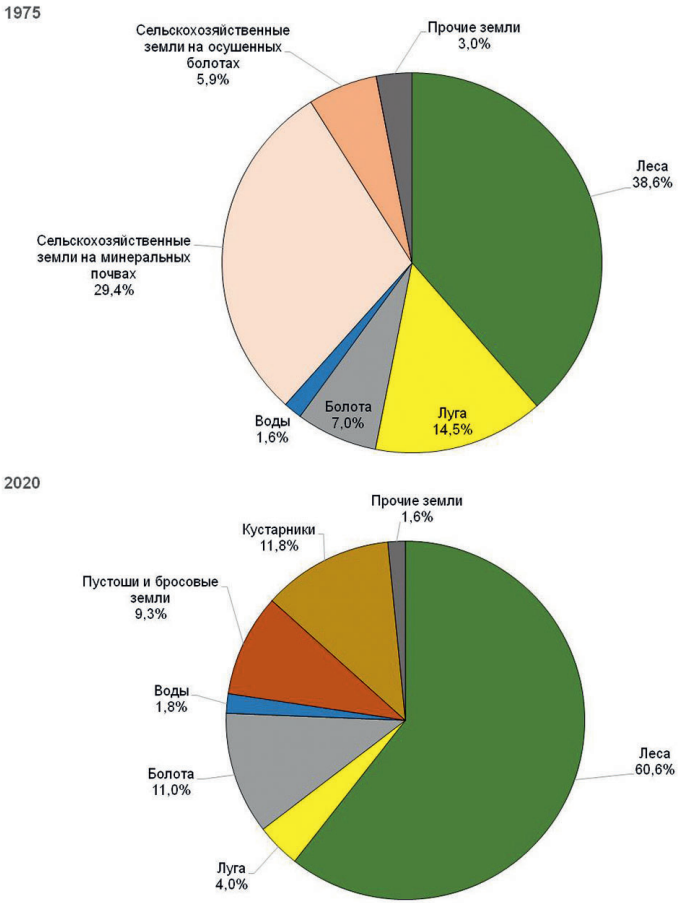


Рис. 11. Структура земельного фонда ПГРЭЗ
в до- (1975 г.) и послеаварийный (2020) периоды

Fig. 11. The structure of the land of the PSRER
in the pre- (1975) and post-accident (2020) periods

Сравнительный анализ структуры лесов зоны отчуждения и Южно-Полесского геоботанического района (табл. 5), показал, что в современных условиях доля участия коренных и длительно-производных сосновых лесов снижается, а доля производных березовых и коренных болотных лесов увеличивается. В основе этих сукцессионных процессов лежат как естественные, так и антропогенные механизмы (рис. 14–16).

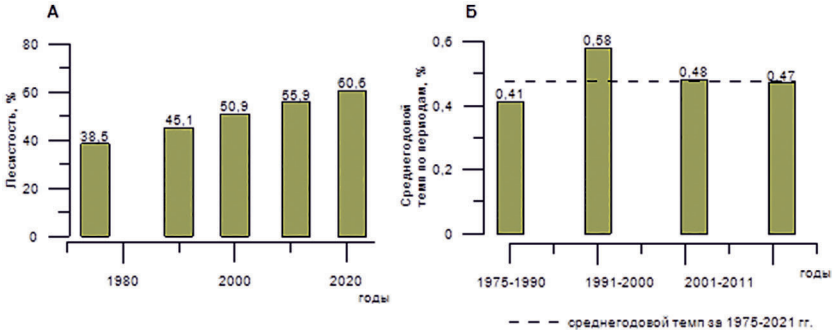
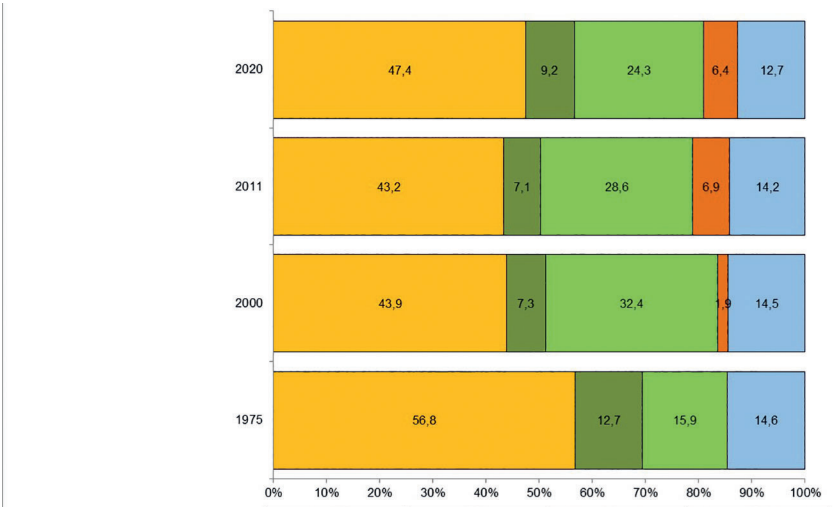


Рис. 12. Динамика лесистости (А)
и темпа облесенности (Б) ПГРЭЗ за 1975–2021 гг.

Fig. 12. Dynamics of forest cover (A)
and rate of afforestation (B) of the PSRER for 1975–2021



	1975	2000	2011	2020
Хвойные леса	47299,8	48485	52267	68658
Широколиственные леса	10587,8	8018	8533	13271,6
Мелколиственные производные леса	13292,9	35780	34595	35198,3
Производные леса с доминированием синантропных древесных растений	0	2068	8375	9320,7
Лиственные болотные леса	12202,8	16052	17146	18317,3

Рис. 13. Динамика структуры лесов ПГРЭЗ

Fig. 13. Dynamics of the forest structure of the PSRER

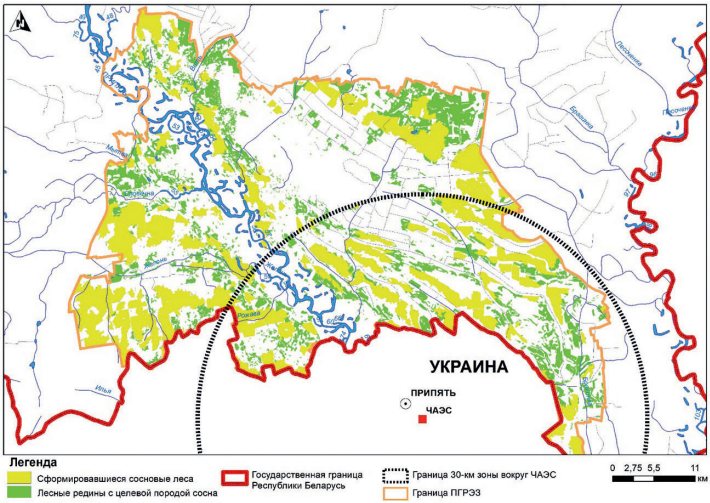


Рис. 14. Облесенность территории ПГРЭЗ сосной и ее потенциальные «ниши»
Fig. 14. Pine afforestation of the territory of the PSRER and its potential "niches"

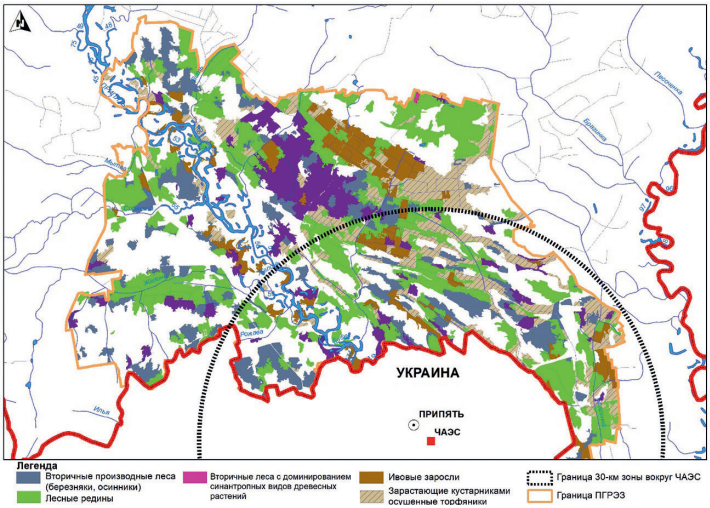


Рис. 15. Производные леса, ивняки
и их потенциальные «ниши» н а территории ПГРЭЗ

Fig. 15. Derivative forests, willows
and their potential "niches" on the territory of PSRER

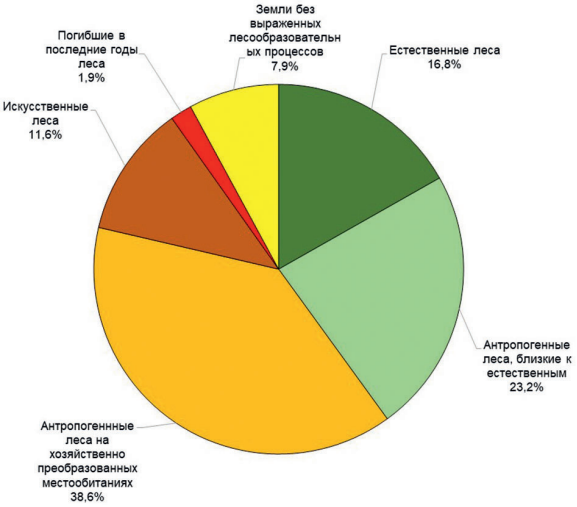


Рис. 16. Динамическая структура лесов ПГРЭЗ.

Fig. 16. Dynamic structure of forests in the PSRER.

Снижение доли участия основной лесообразующей породы региона может быть связано с тем, что естественное возобновление сосняков (особенно в сухих песчаных экотопах с бедными дерново-слабоподзолистыми почвами) идет очень медленно. По данным лесоустройства на 96,2 % непокрытых лесом землях (с целевой породой – сосной) возобновление основной лесообразующей породы отсутствует [14]. Темпы же искусственного восстановления для сосны также являются невысокими: за 2001–2011 гг. было создано 2,4 тыс. га лесных культур сосны.

В этих условиях основное преимущество получают лиственные лесообразующие породы. В зоне отчуждения, в т. н. «лигнозной» стадии демутации (Дидух и др., 1994 цит. по [1]) доминируют в зависимости от трофности почв береза повислая, осина, формируются заросли ив и т.д.

Эти сообщества являются предвестниками формирования типичных коренных ценозов с доминированием сосны и дуба. Однако темп таких изменений чрезвычайно низкий. Так, например, в предыдущее десятилетие (2001–2011 гг.) под естественное возобновление было оставлено 36 тыс. га территории зоны отчуждения. Однако успешное лесовозобновление за этот период было признано только на 7,2 тыс. га (20 %) [14].

Здесь следует также отметить, что в динамике распространения производных лиственных лесов прослеживается определенная тенденция. Наиболее активное увеличение доли участия этих лесов наблюдалось до 2000 г. (фактически после снятия антропогенного пресса в 1987–2000 гг.). Площадь данной категории лесов к 2000 г. по сравнению с контрольным периодом (1975 г.) увеличилась на 18,5 тыс. га (или в 2,9 раза),

за 2001–2011 гг. (по отношению к 2000 г.) увеличение составило 5,1 тыс. га, за 2012–2020 – 1,5 тыс. га (по отношению к 2011 г.). Это может свидетельствовать о стабилизации (или даже завершении) процесса экспансии вторичных лесов в районе катастрофы, вследствие заселения наиболее экологически благоприятных местообитаний.

Увеличение доли лесов на торфяных болотах и затапливаемых землях обусловлено, формированием лесной структуры на бывших сельскохозяйственных землях на торфяно-болотных почвах, зарастанием открытых болот (рис. 14).

Остановимся более подробно на анализе карты динамического состояния Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. В основу составления тематической карты, положена классификационная схема И. Векка [16], характеризующая происхождение, стадию и фазу динамики биогеоценоза. Лесная растительность (включая участки ранних стадий облесенности) исследуемой территории, подразделена на 5 блоков: естественные леса (16,8% лесопокрытой площади); антропогенные леса, близкие к естественным (23,2%); антропогенные леса на хозяйственно преобразованных местообитаниях (38,6%); искусственные леса на преобразованных местообитаниях (30,5%), искусственные леса на лесных землях (11,6%). Внутри блоков выделены от 2 до 4 картируемых единиц, отражающих происхождение и динамическое состояние (рис. 17, табл. 6).

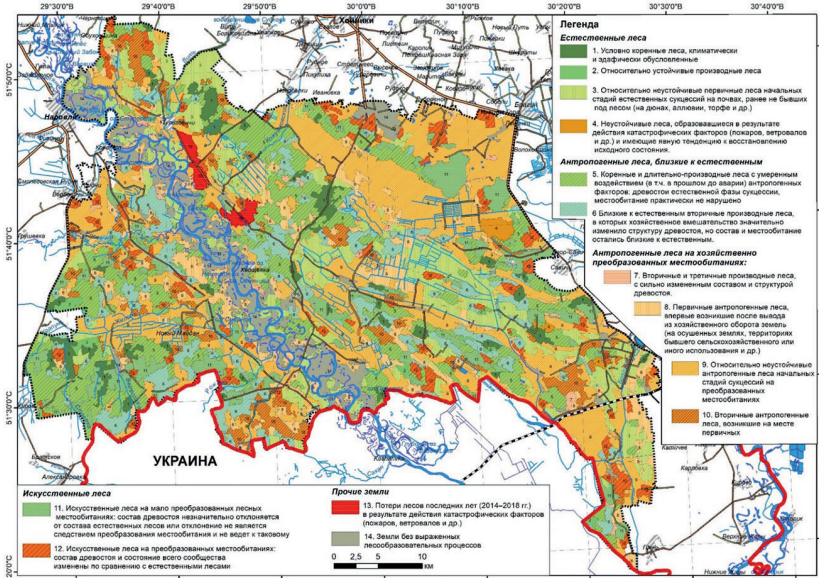


Рис. 17. Карта динамического состояние лесов ПГРЭЗ

Fig. 17. Map of the dynamic state of forests in the PSRER

Таблица 6. Динамическое состояние лесов ПГРЭЗ (2018 г.)

Table 6. Dynamic state of the PSRER forests (2018)

Категория / Category	Площадь / Area	
	тыс. га th. ha	%
Естественные леса / Natural forests	**36,3**	**16,8**
1. Условно-коренные леса, климатически и эдафически обусловленные / Conditionally indigenous forests, climatically and edaphically conditioned	6,7	3,1
2. Относительно устойчивые производные леса / Relatively sustainable derivative forests	1,2	0,6
3. Относительно неустойчивые первичные леса начальных стадий естественных сукцессий на почвах, ранее не бывших под лесом (на дюнах, аллювии, торфе и др.) / Relatively unstable primary forests of the initial stages of natural successions on soils that have not previously been under forest (on dunes, alluvium, peat, etc.)	27,3	12,6
4. Неустойчивые леса, образовавшиеся в результате действия катастрофических факторов (пожаров, ветровалов и др.) и имеющие явную тенденцию к восстановлению исходного состояния / Unstable forests formed as a result of catastrophic factors (fires, windblows, etc.) and having a clear tendency to restore the original state	1,1	0,5
Антропогенные леса, близкие к естественным / Anthropogenic forests close to natural	**50,2**	**23,3**
5. Коренные и длительно-производные леса с умеренным воздействием (в т. ч. в прошлом до аварии) антропогенных факторов: древостои естественной фазы сукцессии, местообитание практически не нарушено / Primary and long-term derivative forests with moderate impact (including in the past before the accident) of anthropogenic factors: stands of the natural phase of succession, habitat is practically not disturbed		14,8
6. Близкие к естественным вторичные производные леса, в которых хозяйственное вмешательство значительно изменило структуру древостоя, но состав и местообитание остались близкие к естественным / Close to natural secondary derivative forests, in which management interventions significantly changed the structure of the stand, but the composition and habitat remained close to natural	18,3	8,5
Антропогенные леса на хозяйственно преобразованных местообитаниях / Anthropogenic forests in economically transformed habitats	**83,5**	**38,7**
7. Вторичные и третичные производные леса, с сильно измененным составом и структурой древостоя / Secondary and tertiary derivative forests, with highly modified composition and structure of the stand	1,0	0,5
8. Первичные антропогенные леса, впервые возникшие после вывода из хозяйственного оборота земель (на осушенных землях, территориях бывшего сельскохозяйственного или иного использования и др.) / Primary anthropogenic forests that first emerged after the withdrawal from economic circulation of lands (on drained lands, territories of former agricultural or other use, etc.)	18,9	8,7

Окончание табл. 6

Категория / Category	Площадь / Area	
	тыс. га th. ha	%
9. Относительно неустойчивые антропогенные леса начальных стадий сукцессий на преобразованных местообитаниях / Relatively unstable anthropogenic forests of the initial stages of successions in the transformed habitats	53,9	25,0
10. Вторичные антропогенные леса, возникшие на месте первичных / Secondary anthropogenic forests that emerged in the place of primary	9,7	4,5
Искусственные леса на лесных землях / Artificial forests on forest lands	**25,0**	**11,6**
11. Искусственные леса на мало преобразованных лесных местообитаниях: состав древостоя незначительно отклоняется от состава естественных лесов или отклонение не является следствием преобразования местообитания и не ведет к таковому / Artificial forests on poorly transformed forest habitats: the composition of the growing stand slightly deviates from the composition of natural forests or the deviation is not a consequence of habitat transformation and does not lead to such	15,7	7,3
12. Искусственные леса на преобразованных местообитаниях: состав древостоя и состояние всего сообщества изменены по сравнению с естественными лесами / Artificial forests in converted habitats: the composition of the stand and the state of the entire community is changed compared to natural forests	9,3	4,3
Прочие земли	**21,2**	**9,8**
13. Леса, погибшие в последние годы (2016–2020 гг.) в результате действия катастрофических факторов (пожаров, ветровалов, усыхания и др.) / Forests that have died in recent years (2016–2020) as a result of catastrophic factors (fires, windblows, drying out, etc.)	4,1	1,9
14. Земли без выраженных лесообразовательных процессов / Lands without pronounced forest formation processes	17,1	7,9

На значительной части в центральном и юго-западном секторах Полесского радиационно-экологического заповедника доминируют естественные коренные и длительно производные леса, а также близкие к ним антропогенные леса. Они занимают 38,6 тыс. га (17,9 % лесопокрытой площади). Относительно устойчивые производные леса встречаются локально и занимают 1,2 тыс. га (0,6 %). Значительно шире распространены близкие к естественным вторичные производные леса, в которых хозяйственное вмешательство значительно изменило структуру древостоя, но состав и местообитание остались близкие к естественным – 18,3 тыс. га (8,5 %). Они сконцентрированы преимущественно в южной части заповедника.

Активно протекающие лесообразовательные процессы на бывших нелесных землях (в доаварийный период) происходят практически на всей территории ПГРЭЗ. Эти процессы происходят как на антропо-

генно преобразованных местообитаниях (на осушенных землях, территориях бывшего сельскохозяйственного или иного использования и др.), так и на почвах, ранее не бывших под лесом (на дюнах, аллювии, торфе и др.). В целом общая площадь территории, где они проявляются эти процессы в различной степени выраженности, составляет 100,1 тыс. га (46,3 %).

Доля искусственных лесов на исследуемой территории составляет 11,6 %, при этом преобладают леса (15,7 тыс. га – 7,3 %), где состав и структура древостоя незначительно отличается от естественных насаждений. Преимущественно эти лесные культуры созданы в доаварийный период в центральном и юго-западном секторах. Искусственные леса на преобразованных местообитаниях занимают 9,3 тыс. га (4,3 %) и сконцентрированы небольшими участками по всей характеризуемой территории. Потери лесов последних лет (2016–2020 гг.) составили 4,1 га (1,9 %). Стабильные участки, где лесообразовательные процессы слабо выражены или отсутствуют составляют 7,9 % от площади ПГРЭЗ.

Лугово-болотная растительность. На месте эвтрофных болот и заболоченных лугов спустя несколько лет после аварии преобладали ассоциации с доминированием *Carex vesicaria*, *Carex acuta*, *Glyceria maxima*, *Agrostis stolonifera*, *Poa palustris* и других видов. В настоящее время эти растительные сообщества довольно сильно зарастают древесно-кустарниковой растительностью (*Salix triandra*, *S. pentandra*, *S. cinerea*, *Alnus glutinosa* и др.) Наличие подобных ценозов обусловлено переувлажнением в результате деградации осушительных систем, их площади постепенно увеличиваются. Подобные ассоциации с более сухими условиями постепенно переходят в черноольховые насаждения с осоковым и гидрофильным покровом.

Настоящие луга (преобладанием *Alopecurus pratensis*, *Phleum pratense*) прирусловой части заливов рек в условиях переменного увлажнения проходят через стадию ивняков (*Salix triandra*, *S. pentandra* и др.). Данные сообщества постепенно сменяются заливными ивовыми лесами, в которых доминирует *Salix fragilis*.

В целом процессы динамики лугов проявляются в: формировании лесной структуры на площади 12,5 тыс. га или 30,4 % от площади лугов в доаварийный период, закустаривании – 13,4 тыс. га (32,4 %), заболачивании в результате деградации осушительных систем – 7,9 тыс. га (19,1 %). Доля стабильных лугов составляет 7,5 тыс. га (18,2 %), они сохранились фрагментарно в пойме реки Припять (рис.18, 19).

Стабильные открытые болота (ненарушенный естественный гидрологический режим, зарастание древесно-кустарниковой растительностью <10%) занимают 0,8 тыс. га или 15,3 % от общей площади болот. На площади 7,9 тыс. га (63,9 %) наблюдаются процессы восстановления болотообразовательных процессов на нарушенных торфяниках, 1,7 тыс. га открытых болот (13,9 %) в послеаварийный трансформировались в болотные леса, 2,1 тыс. га (16,6 %) – в редколесья и заросли кустарников (рис. 20).

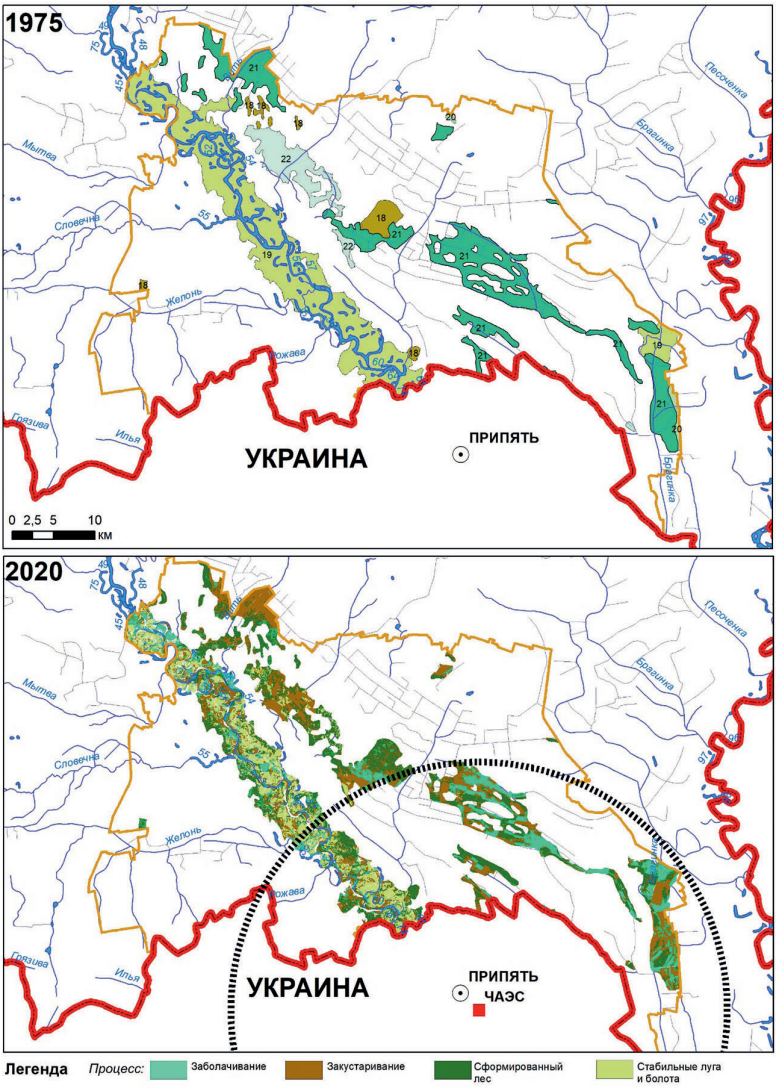


Рис. 18. Динамические процессы лугово-болотной растительности на территории ПГРЭЗ

Fig. 18. Dynamic processes of meadow-mire vegetation on the territory of the PSRER

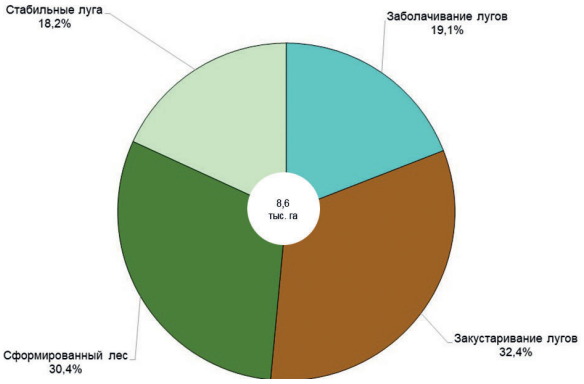


Рис. 19. Динамика лугов ПГРЭЗ
в послеаварийный период (по состоянию на 2020 г.)

Fig. 19. Dynamics of meadows in the PSRER
in the post-accident period (as of 2020)

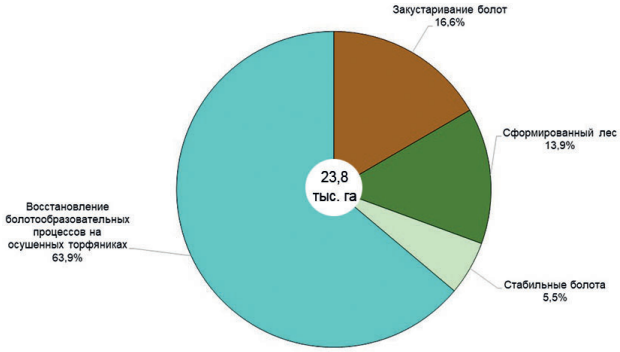


Рис. 20. Динамика болот ПГРЭЗ
в послеаварийный период (по состоянию на 2020 г.)

Fig. 20. Dynamics of mires in the PSRER
in the post-accident period (as of 2020)

Бывшие пахотные земли проходят сложный путь зарастания со сменой лесных пород – *Betula pendula, Populus tremula*, *Salix caprea*, куда активно проникают *Quercus robur*, *Pinus sylvestris*. Заключительным этапом, на котором завершится процесс сукцессии – формирование коренных хвойных лесов и хвойно-широколиственных лесов. На некоторых участках с дерново-слабоподзолистыми почвами березово-сосновую стадию заменяет сосновая, в которой доминируют ассоциации Pinetum pleuroziosum, P. vacciniosum.

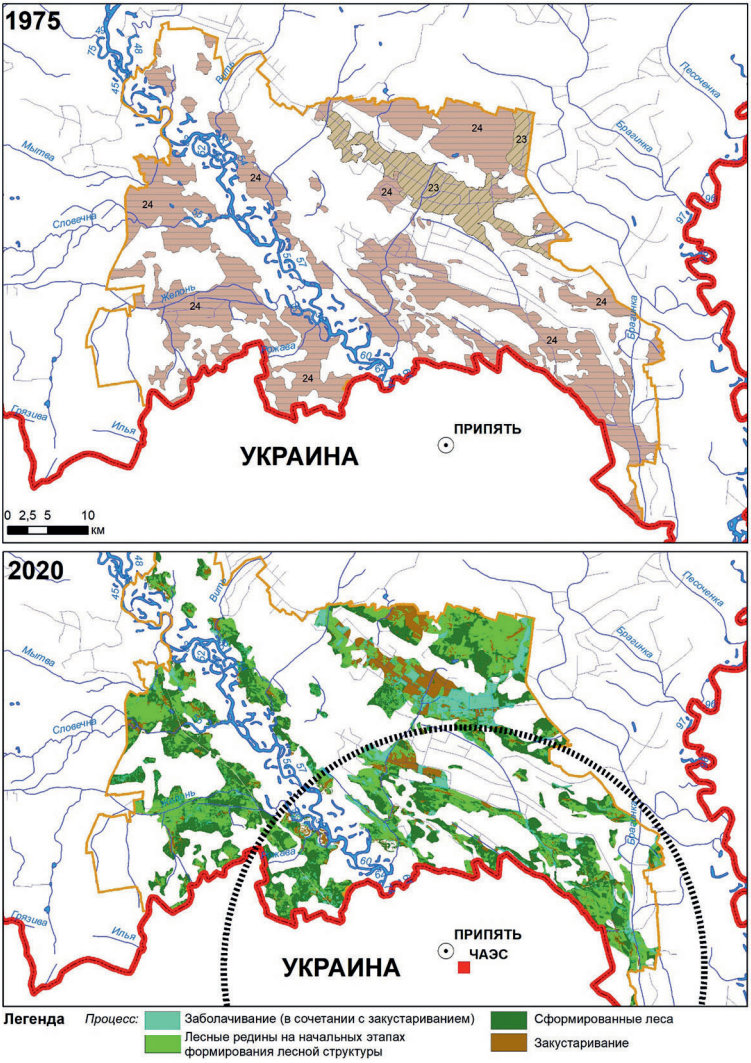


Рис. 21. Динамические процессы в структуре растительного покрова на территориях ПГРЭЗ ранее занятых сельскохозяйственными землями и населенными пунктами

Fig. 21. Dynamic processes in the structure of vegetation cover in the territories of the PSRER previously occupied by agricultural lands and settlements

Территории, ранее занятые населенными пунктами в условиях свежих экотопов, обогащенных гумусом, азотом, где сейчас господствует Acer negundo, постепенно будут заселять древесные породы как лиственные, так и хвойные, в результате чего здесь сформируются дубово-сосновые или хвойно-широколиственные леса.

В целом на бывших сельскохозяйственных и селитебных землях в настоящее время леса занимают 34,7 тыс. га (41,8 %), лесные редины на начальных этапах формирования лесной структуры – 27,1 тыс. га (32,7 %). На осушенных для целей сельскохозяйственного использования землях в северной части ПГРЭЗ доминируют процессы заболачивания и закустаривания (рис. 21, 22).

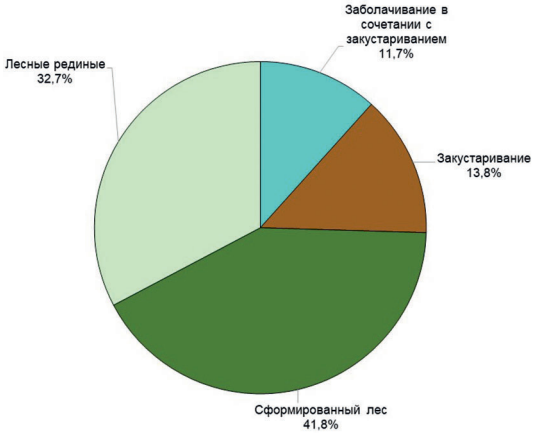


Рис. 22. Динамические процессы на территориях ПГРЭЗ, ранее занятых сельскохозяйственными землями и населенными пунктами

Fig. 22. Dynamic processes in the territories of the PSRER previously occupied by agricultural lands and settlements

Наиболее сухие песчаные экотопы с бедными дерново-слабоподзолистыми почвами и незначительным слоем гумуса, занятые псамофитными пустынно-луговыми ассоциациями, в которых преобладает *Corynephorus canescens*, а также встречаются *Calamagrostis epigeos*, *Nardus stricta*, *Helichrysum arenarium* и др., будут постепенно заселяться куртинами лишайников, сюда проникнет сосна и сформируются ассоциации PINETUM CLADINOSUM.

В заключении заметим, что процесс восстановления растительного покрова достаточно длительный и современные процессы отражают только промежуточный этап демутационной динамики. Этот процесс может растянуться на многие десятилетия пока не сформируются устойчивые климаксовые и субклимаксовые растительные сообществ.

Заключение.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. В настоящее время в зоне аварии ЧАЭС процессы самовосстановления охватывают все природные системы и обусловлены, прежде всего, устранением хозяйственной деятельности. Однако, в настоящее время структура растительного покрова и биотопов еще находится в процессе восстановления и не достигла параметров естественного состояния, обеспечивающего устойчивое сохранение регионального биоразнообразия.

2. Исследования, проведенные в различные годы, демонстрируют поступательное увеличение количества видов сосудистых растений: с 885 (2002 г.) до 1157 (2020 г.). Это связано, по-видимому, с «запуском» восстановительных процессов растительного покрова после эвакуации населения и полного прекращения хозяйственной деятельности. Однако при этом нельзя исключить и факт расширения масштабов полевых исследований с охватом ранее неизученных и труднодоступных участков ПГРЭЗ, что безусловно отразилось на количественных показателях флоры.

3. По количеству охраняемых видов растений территория ПГРЭЗ значительно уступает особо охраняемым природным территориям фоновых условий. При этом следует отметить, что, с учетом направлений динамики растительного покрова и природных условий его формирования, а также эколого-фитоценотической приуроченности, количество охраняемых видов растений достигла некоторого оптимума и можно прогнозировать даже сокращение количества (до 28–30) охраняемых видов, за счет выпадения их из состава ценозов опушечных, луговых и болотных видов, вследствие формирования лесной структуры на ранее нелесных землях.

4. Пространственная изоляция территории ПГРЭЗ привела к тому, что здесь уровень синантропизации флоры сохранился на уровне конца 1980-х гг., что значительно ниже чем в целом по стране. Центрами закрепления и проникновения инвазионных видов в пределах ПГРЭЗ являются бывшие населенные пункты (которых до аварии на ЧАЭС было 96), пустошные земли, бывшие пашни, линейные объекты (дороги) и другие антропогенные местообитания.

5. Узловым моментом демутационных сукцессий является увеличение лесопокрытой территории. Установлено, что за период 1975–2021 гг. лесистость белорусского участка зоны отчуждения увеличилась на 22,1 % и составляет в настоящее время 60,6 %. Темп облесения района исследования составил в среднем 0,47 % в год, пик максимума среднегодового прироста (0,58 % в год) зафиксирован в 1991–2000 гг.

6. Современная формационная структура лесов зоны отчуждения характеризуется преобладанием сосновых (47,4 % лесопокрытой территории) и бородавчатоберезовых (23,9 %) лесов. Относительно высоким участием характеризуются черноольховые (11,1 %) и дубовые (8,1 %) насаждения. Динамика формационной структуры лесной растительности в послеаварийный период характеризуется резким ростом участия производных мелколиственных лесов. По сравнению с фоновым периодом их

площадь увеличилась в 3,4 раза и в настоящее время составляет 20,6 % от площади зоны отчуждения. Наряду с производными березовыми лесами, площадь которых увеличилась в 2,8 раз (с 12,1 до 34,5 тыс. га), активный характер распространения имеют фитоценозы эдификатором в которых являются синантропные древесные растения (*Robinia pseudoacacia*, *Malus spp*., *Acer negundo*, др.). Доля этих лесов поступательно растет: 2,7 % (2000) <3,9 % (2011) <4,3 % (2020). Коренные хвойные и лиственные болотные леса также имеют тенденцию увеличения распространения, однако их динамика не носит стремительный характер.

7. Доминирующими факторами, определяющими современную картину сукцессионных смен лесной растительности, являются естественные процессы. Вместе с тем довольно значительна роль антропогенно-стимулированных процессов формирования лесной растительности (зарастание бывших сельскохозяйственных земель, населенных пунктов, подтопление, заболачивание), связанные с прекращением хозяйственной деятельности. Роль прямодействующих антропогенных факторов (рубки, пожары) в динамике лесов зоны отчуждения незначительна. При этом отмечено резкое увеличение гибели лесов в последние годы, что связано, прежде всего, с воздействием комплекса естественных факторов (засухи, вредители хвойных лесов, пожары).

8. Процессы динамики лугов проявляются в: формировании лесной структуры на площади 12,5 тыс. га или 30,4 % от площади лугов в доаварийный период, закустаривании – 13,4 тыс. га (32,4 %), заболачивании в результате деградации осушительных систем – 7,9 тыс. га (19,1 %). Доля стабильных лугов составляет 7,5 тыс. га (18,2 %), они сохранились фрагментарно в пойме реки Припять.

9. Стабильные открытые болота (ненарушенный естественный гидрологический режим, зарастание древесно-кустарниковой растительностью <10 %) занимают 0,8 тыс. га или 15,3 % от общей площади болот. На площади 7,9 тыс. га (63,9 %) наблюдаются процессы восстановления болотообразовательных процессов на нарушенных торфяниках, 1,7 тыс. га открытых болот (13,9%) в послеаварийный период трансформировались в болотные леса, 2,1 тыс. га (16,6%) – в редколесья и заросли кустарников.

10. На бывших сельскохозяйственных и селитебных землях в настоящее время леса занимают 34,7 тыс. га (41,8 %), лесные редины на начальных этапах формирования лесной структуры – 27,1 тыс. га (32,7 %). На осушенных для целей сельскохозяйственного использования землях в северной части ПГРЭЗ доминируют процессы заболачивания и закустаривания.

11. Процесс восстановления биоразнообразия достаточно длительный и современные процессы отражают только промежуточный этап демутационной динамики. Этот процесс может растянуться на многие десятилетия в связи, с чем важен долговременный мониторинг экосистем зоны отчуждения.

Литература

1. Козубов, Г. М. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы / Г. М. Козубов, А. И. Таскаев. − М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2002. – 272 с.

2. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: И.М. Качановский (предс.). М. Е. Никифоров, В.И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.

3. Кудин, М. В. Флора сосудистых растений Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / М. В. Кудин, Д. К. Гарбарук, Л. В. Маленок, Л. М. Турчин // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Сборник научных статей. – Минск, 2014. – Вып. 9. – С. 85–125.

4. Оценить современное состояние, динамику биоразнообразия основных типов экосистем Полесского государственного радиационно-экологического заповедника и разработать перспективные направления его развития: отчет о НИР (заключ.) / Ин-т эксперим. ботаники; рук. С.С. Савчук. – Минск, 2019. – 148 с. – № ГР 20191116.

5. Флора и растительность Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / В. И. Парфенов [и др.]; Мин. образования РБ и др. – Мозырь: Белый Ветер, 2002. – 111 с.

6. Турчин, Л.М. Находки аборигенных и адвентивных видов растений в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике / Л. М. Турчин // Флора и растительность в меняющемся мире: проблемы изучения, сохранения и рационального использования: межд. научн. конф., Минск–Домжерицы, 24–27 сентября 2019 года. – Минск, 2019. – С. 115–156.

7. Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / Д. В. Дубовик [и др.]; под общ. ред. В. И. Парфенова, А.В . Пугачевского; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В.Ф. Купревича. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 407 с.

8. Global Land Analysis & Discovery. – [Electronic resource]. URL: http://glad.geog.umd.edu/. – Date of access: 24.05.2021.

9. Турубанова, С. А. Анализ динамики лесного покрова Восточной Европы на основе спутниковых данных с 1985 по 2012 / С. А. Турубанова, А. М. Крылов, П. В. Потапов, А. Ю. Тюкавина // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – Vol. 2 (1). – 2017. – С. 1–11.

10. Potapov, P.V. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive / P.V. Potapov, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, A.M. Krylov, J.L. McCarty, V.C. Radeloff, M.C. Hansen // Remote Sensing of Environment. – 2014. – V. 159. – P. 28–43.

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

12. Юркевич, И.Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование / И.Д. Юркевич, Д.С. Голод, В.С. Адерихо. – Минск: Наука и техника, 1979. – 248 с.

13. Карта растительности Белорусской ССР. Масштаб 1: 300 000 / под ред. И. Д. Юркевича, Д.С. Голода. – Минск,1975. – 4 л.

14. Проект организации и ведения лесного хозяйства «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь на 2013–2022 гг. – Гомель, 2012. – Т.1 (пояснительная записка). – 259 с.– (Препринт) / Минлесхоз РБ. ЛРУП «Белгослес».

15. Изучить основные закономерности формирования, направления смен и динамику биоразнообразия в растительном покрове Беларуси, обусловленные антропогенными воздействиями. Отчет о НИР (заключит.) / Ин-т эксперимен. ботаники НАНБ; Рук. темы Д.С. Голод.− № ГР 20011959.− Минск, 2005.− 571 с.

16. Weck, J. Entwicklungsstufen und Gefügetypen von Baumbeständen / J. Weck // Forstwissensch. Centralblatt, 1956. – Bd. 75, N3/4. – S. 108–124

17. EUNIS biodiversity database – find species, habitats and sites across Europe / European Envi-ronment Agency. – [Electronic resource]. URL: http://eunis.eea.europa.eu/. – Date of access: 25.05.2021.

Поступила в редакцию 12.10.2021 г.

УДК 582.572 (476)

Д. В. ДУБОВИК, С. С. САВЧУК, А. Н. СКУРАТОВИЧ,
В. Н. ЛЕБЕДЬКО, А. О. САУЛОВ

МАТЕРИАЛЫ О НОВЫХ ДЛЯ ФЛОРЫ БЕЛАРУСИ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ВИДАХ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: dvdubovik73@gmail.com

Аннотация. Приведены данные о новых для флоры Беларуси адвентивных и аборигенных видах сосудистых растений, указаны впервые выявленные местонахождения некоторых охраняемых и редких видов. Многие новые местонахождения видов приведены для относительно слабо изученных во флористическом отношении административных районов Беларуси. Указаны также новые для флоры республики гибридные таксоны (*Cirsium* x *moravicum*, *Aster* x *patulus* и др.).

Ключевые слова: флора, редкие и охраняемые виды растений, адвентивные растения

D.V. DUBOVIK, S.S. SAUCHUK, A.N. SKURATOVICH,
V. N. LEBEDKO, A.O. SAULOV

MATERIALS ABOUT NEW RARE AND PROTECTED SPECIES OF VASCULAR PLANTS IN FLORA OF BELARUS

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: dvdubovik73@gmail.com

Annotation. The data on adventive and aboriginal species of vascular plants, new to the flora of Belarus, are given, the newly discovered localities of some protected and rare species are indicated. Many new species localities are given for relatively poorly studied floristically administrative regions of Belarus. Hybrid taxa (*Cirsium* x *moravicum*, *Aster* x *patulus*, etc.), new to the flora of the republic, are also indicated.

Keywords: flora, vascular plants, rare and protected species, adventive and aboriginal plants

Введение. В данной работе мы продолжаем обобщение результатов собственных полевых флористических исследований, проведенных в последние годы, а также коллег биологов и материалов критического изучения коллекции сосудистых растений Гербария Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси (MSK). Нами приводятся сведения о новых местонахождениях некоторых редких и охраняемых видов растений в пределах страны, данные о новых таксонах для Беларуси, не только аборигенных, но также заносных и культивируемых видов растений. Многие новые местонахождения редких видов сосудистых растений приведены для относительно слабо изученных в флористическом отношении административных районов Беларуси. Данная информация существенным образом дополняет известные сведения о распространении в пределах страны и частоте встречаемости некоторых редких видов растений и актуальна для готовящихся к изданию томов «Флора Беларуси», «Красная книга Республики Беларусь» и других подобных изданий.

Материалы (объекты) и методы исследования. Исследования проводились традиционным маршрутным методом по всей территории Беларуси. Перечень видов дается согласно Определителю [3]. Номенклатура таксонов принята по электронной базе данных Миссурийского ботанического сада «Tropicos» [4], частично с некоторыми изменениями, которые опубликованы в недавнее время в различных научных изданиях. Все гербарные сборы приведенных в статье видов хранятся в Гербарии ИЭБ НАН Беларуси (MSK – V). За редким исключением виды приведены на основании личных наблюдений авторов или их коллег.

Результаты и их обсуждение. Ниже приводятся конкретные местонахождения выявленных в республике видов сосудистых растений с краткой аннотацией и критическими замечаниями к ним, если это необходимо.

Huperzia selago (L.) Bernh. ex Schrank et Mart. – Березинский р-н, окр. д. Кукарево, 1 км к Ю, ольс с елью папоротниковый, Д. Дубовик, В. Лебедько, С. Савчук, А. Саулов, 06.10.2021.

Salvinia natans (L.) All. – Ивацевичский р-н, окр. д. Чемелы, 1,7 км к В, у моста через р. Щара, в затоке реки, часто, С. Терещенко, 30.09.2021.

Aconitum neomontanum Willd. – Гродненский р-н, п. Барановичи, в культуре, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 16.07.2019.

Anemone obtusifolia D. Don – Витебский р-н, г. Витебск, выращивается у жилья в частном секторе, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, А. Саулов, 07.09.2021. В г. Витебске (с 2017 г.) и Бресте также выращивается *A. rivularis* Buch.-Ham. ex DC.

Aquilegia flabellata Siebold et Zucc. – Борисовский р-н, г. Борисов, выращивается у жилья в частном секторе, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, А. Саулов, 06.09.2021. Здесь же собраны *Amygdalus nana* L., *Callianthemum anemonoides* (Zahlbr.) Endl., *Pulsatilla vulgaris* Mill. x *P. rubra* (Lam.) Delarbre (садовые сорта с буровато-красноватыми и поникающими цветками, нижние доли листьев первого порядка без явно выраженных и длинных черешков, основных долей больше, чем у *P. vulgaris* (обычно 4-5)), *Artemisia schmidtiana* Maxim., *Ilex aquifolium* L., *Sanguinaria canadensis* L.

Clematis brevicaudata Schmalh. ex Lipsky – Шкловский р-н, окр. д. Вел. Михайлов, на дачных участках в культуре, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 14.07.2020.

Clematis x *diverifolia* DC. – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 03.08.2020. Витебский р-н, г. Витебск, выращивается у жилья, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 11.08.2021. Здесь же отмечены *C. versicolor* Small, *C. serratifolia* Rehd., *C. pitcheri* Torr. et A. Gray.

Clematis x *durandii* Kuntze – Шкловский р-н, окр. д. Вел. Михайлов, на дачных участках в культуре, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 14.07.2020.

Clematis integrifolia L. x C. fusca Turcz. – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 03.08.2020. Здесь же отмечены гибриды с *C. reticulata* Walter.

Clematis x *triternata* DC. – Берестовицкий р-н, д. Макаровцы, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 16.07.2019.

Helleborus x *nigercors* J. T. Wall – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 03.08.2020.

Ranunculus lanuginosus L. – Поставский р-н, окр. д. Норица, 0,6 км к Ю, ельник кислично-снытевый с осиной у шоссе, нередко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.05.2021.

Ranunculus nemorivagus Jord. – Поставский р-н, г.п. Лынтупы, в старом парке, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.05.2021.

Corydalis cava (L.) Schweigg. et Körte – Буда-Кошелевский р-н, окр. д. Потаповка, 1,1 км к В, широколиственный с ольхой крапивно-снытевый лес, нередко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 15.04.2021; Гомельский р-н, окр. д. Осовино, 0,7 км к С, ольс крапивный, часто, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.04.2021; Добрушский р-н, окр. г. Добруш, 4 км к ССВ, в оврагах, поросших кленом и ольхой, часто, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.04.2021. Здесь же найдены *Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichnb., *Viola collina* Bess., *Genista germanica* L., *Lilium martagon* L..

Hylomecon vernalis Maxim. – Витебский р-н, г. Витебск, выращивается у жилья в частном секторе, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, А. Саулов, 07.09.2021. Здесь же собраны или отмечены *Cerasus serrulata* (Lindl.) Loud. x *C. speciosa* (Koidz.) H. Ohba, *Alchemilla mollis* (Buser) Rothm., *Hepatica* x *media* Simonk., *H. transsilvanica* Fuss, *H. nobilis* Mill. var. *pyrenaica* Done, *H. n*. var. *japonica* (Nakai) Zonn., *Arum italicum* Mill., *Cyclamen hederifolium* Ait., *Glaucidium palmatum* Siebold et Zucc., *Soldanella montana* Willd., *Hydrangea petiolaris* Sieb. et Zucc., *Geranium renardii* Trautv., *Allium paradoxum* (Bieb.) G. Don, *Polypodium* x *mantoniae* Rothm., *Rhododendron fastigiatum* Franch., *Helleborus thibetanus* Franch., *Anemonopsis macrophilla* Siebold et Zucc., *Callianthemum anemonoides* (Zahlbr.) Endl., *Campanula portenschlagiana* Roem. et Schult., *Phlox amoena* Sims, *Rheum palmatum* L. var. *tanguticum* Maxim. ex Balf., *Primula rosea* Royle.

Meconopsis cambrica Vig. – Поставский р-н, д. Гута, выращивается как декоративное растение у жилья, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 21.05.2021. Здесь же в культуре встречается P*ulsatilla vulgaris*, *P. vulgaris* x *P. rubra*, *Anemone coronaria* L., *Paeonia tenuifolia* L., *Amygdalus nana* L.

Meconopsis grandis Prain – Шкловский р-н, окр. д. Вел. Михайлов, на дачных участках в культуре, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 14.07.2020. Имеет клиновидное основание листьев, цветков до 3, цветки синие. Также отмечен в д. Черемушки Могилевского р-на. В г. Витебск в культуре отмечен близкий вид с синими и белыми цветками – *M. betonicifolia* Franch. у котрого цветков до 5, основание листьев сердцевидное и листья на конце притупленные.

Pseudofumaria lutea (L.) Borkh. – Оршанский р-н, д. Приднепровье, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 10.08.2021. Здесь же отмечен одичавшим *Portulaca oleracea* L. var. *sativa* (Haw.) DC.

Hypericum montanum L. – Добрушский р-н, окр. д. Леонтьево, 4,2 км к ЮЮВ, на вырубке среди дубравы с сосной орляковой-кисличной, изредка, Д. Дубовик, В. Лебедько, А. Скуратович, А. Саулов, 30.06.2021. Здесь же в лесном массиве найдены *Agrimonia pilosa* Ledeb., *Platanthera chlorantha*, *Potentilla alba* L., *Lilium martagon* L., *Genista germanica* L., *Circaea lutetiana* L., *Drymochloa sylvatica* (Poll.) Holub.

Вид новый для Добрушского р-на [1].

Viola jooi Janka – Гродненский р-н, г. Гродно, выращивается как декоративное растение, Д. Дубовик, 2017, фото.

Новый в культуре таксон.

Viola reichenbachiana Jord. ex Boreau – Оршанский р-н, д. Высокое, в старом парке, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, А. Саулов, 06.09.2021.

Salix myrtilloides L. – Ганцевичский р-н, окр. д. Люща, 2,9 км к СЗ, мезотрофное полуоткрытое болото у ж.д., изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, 14.06.2021. Совместно с данным видом произрастает *S. lapponum* L.

Arabis androsacea Fenzl – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Draba aizoides L. – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020. Здесь же отмечены *D. bryoides* DC., *D. bruniifolia* Stev., *D. lasiocarpa* Rochel, *D. sphaeroides* Payson, *D.* x *suendermannii* hort.

Dentaria bulbifera L. – Гомельский р-н, окр. д. Щербовка, 1,6 км к ВСВ, березняк кисличный с грабом, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 16.04.2021. В окр. д. Щербовка также отмечены *Allium ursinum* L., *Pulmonaria angustifolia* L., *P.* x *notha* A. Kerner, *Platanthera chlorantha*. Речицкий р-н, окр. д. Глинная Слобода, 4,7 км к ВСВ, дубрава снытевая, часто, Д. Дубовик, С. Савчук, А. Скуратович, 01.09.2021. Здесь же отмечены *Corydalis cava*, *Allium ursinum*, *Drymochloa sylvatica*. Речицкий р-н, окр. д. Васильково, 0,5 км к Ю, дубрава снытевая, часто, Д. Дубовик, С. Савчук, А. Скуратович, 02.09.2021, наблюдение.

Dentaria glandulosa Waldst. et Kit. (*Cardamine glanduligera* O. Schwarz) – Гомельский р-н, г. Гомель, в культуре в частном секторе, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 19.04.2021. Также в культуре отмечены *Paronychia kapela* (Hack.) A. Kern., *Arenaria tetraquetra* L., *Corydalis ochroleuca* W.D.J. Koch, *Pseudofumaria lutea* (L.) Borkh., *Draba* x *suendermannii* hort., *Euphorbia myrsinites* L. (дает обильный самосев), *Diospyros virginiana* L., *Ficus carica* L.

Isatis tinctoria L. – Толочинский р-н, г. Толочин, выращивается как красильное растение, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 28.07.2021. Здесь же найдены *Salvia viridis* L., *Salvia sclarea* L., *Physalis pubescens* L.

Vaccinium praestans Lamb. – Могилевский р-н, д. Черемушки, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 15.07.2020. Новый таксон для флоры Беларуси.

Androsace darvasica Ovcz. – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020. Здесь же отмечены *A. sempervivoides* Jacq., *A. studiosorum* Kress, *A. vitaliana* (L.) Lapeyr.

Dodecateon dentatum Hook. – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020. Здесь же отмечена *Douglasia laevigata* A. Gray.

Astilboides tabularis (Hemsl.) Engl. – Витебский р-н, г. Витебск, выращивается у жилья, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 11.08.2021. Здесь же отмечены *Syringa meyeri* C. K. Schneid., *Stephanandra incisa* (Thunb.) Zabel, *S. tanakae* Franch. et Sav., *Lonicera* x *brownii* (Regel) Carriere, *Clematis tangutica* (Maxim.) Korsch., *C. integrifolia* L., *C.* x *fargesioides* Vol. et Besk., *C. texensis* Buckley, *C. heracleifolia* DC., *C. crispa* L., *C. texensis* Buckley x *C.* x *jackmannii* T. Moore, *C. viorna* L., *Rhodiola pachyclados* (Aitch. et Hemsl.) H. Ohba, *Nymphaea* x *marliacea* hort. ex Latour-Marliac, *Kerria japonica* (L.) DC., *Panicum virgatum* L., *Hydrangea quercifolia* Bart., *Thalictrum delavayi* Franch., *T. actaeifolium* Siebold et Zucc., *Campanula lactiflora* Bieb., *Pseudofumaria lutea* (L.) Borkh., *Gentiana asclepidea* L., *Corydalis bracteata* (Stephan) Pers, *Kirengeshoma palmata* Yatabe, *Campsis* x *tagliabuana* (Vis.) Rehder, *Glaucidium palmatum* Siebold et Zucc., *Dryopteris erytrosora* (D.C. Eaton) Kuntze, *Cymbalaria muralis* P. Gaertn., B. Mey. et Scherb., *Blechnum penna-marina* (Poir.) Kuhn., *Hakonechloa macra* (Munro) Honda, *Spiraea prunifolia* Sieb. et Zucc., *Pyracantha coccinea* M. Roem., *Allium caeruleum* Pall., *Lysimachia cletroides* Duby, *Melica transsilvanica* Schur, *Menispermum dauricum* DC., *Cercidiphyllum japonicum* Siebold et Zucc., *Sorbus cashmiriana* Hedl., *Anemonopsis macrophilla* Siebold et Zucc., *Ampelopsis brevipedunculata* (Maxim.) Trautv., *Viburnum plicatum* Thunb., *Chionanthus virginicus* L., *Persicaria virginiana* (L.) Gaertner, *Meum athamanticum* Jacq.

Sempervivum wulfenii Hoppe ex Mertens et W.D.J. Koch – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Cerasus fruticosa (Pall.) Woron. – Житковичский р-н, окр. д. Ридча, к ССВ, заросли кустарников с *Prunus spinosa*, Rosa sp., Д. Третьяков, 10.07.1983, опр. Д. Дубовик.

Новый адвентивный вид. Сохранился в окр. г. Туров как реликт старой культуры совместно с терном, шиповниками, боярышниками.

Cotoneaster lucidus Schlecht. – Минский р-н, г. Минск, лесной массив «Новинки», в сосняке мшисто-кисличном, образует густой подлесок, очень часто, Д. Дубовик, 19.08.2021. Данный вид в последние годы стал массовым растением в пригородной зоне г. Минска и возможно следует включить его в состав инвазионных растений, его плоды активно разносятся птицами.

Cotoneaster tomentosus (Ait.) Lindl. – Смолевичский р-н, д. Богута, дачный участок миноблисполкома, в посадках, редко, Г. Вынаев, 1987. Редкий в культуре интродуцент.

Potentilla thuringiaca Bernh. – Докшицкий р-н, окр. г.п. Крулевщина, вблизи С окраины, у ж.д. ветки Крулевщина-Подсвилье, слева, в полосе отчуждения ж.д., изредка, несколько микрогруппировок, Д. Дубовик, С. Савчук, А. Саулов, 01.06.2021, MSK.

Prunus spinosa L. – Оршанский р-н, д. Заболотье, у дороги по краю широколиственного леса вблизи оврага, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук. Быховский р-н, д. Грудиновка, в старом парке, редко, Д. Дубовик, 17.08.2021. Здесь же найдена *Rosa* x *majorugosa* Palmen et Hamet-Ahti.

Spiraea trichocarpa Nakai – Брестский р-н, окр. д. Клейники, 2 км к ЮЗ, муждуречье р. Зап. Буг и Лесная, заросли кустарников вокруг старицы, у тропы, несколько кустов, 30.08.1995, Д. Третьяков, опр. Д. Дубовик.

Новый адвентивный вид для флоры Беларуси. Этот таксон близок к *S. nipponica* Maxim. и изредка встречается в культуре по всей территории страны. В отличие от *S. nipponica* имеет цветочные щитки не простые, а с дополнительными веточками, плоды опушенные, цветоносы и завязь от б.м. часто до густо рыжевато-волосистых, как и чашелистики (у *S. nipponica* есть редкое опушение на цветоножках и единичные волоски на гипантиях до цветения), листовки рассеянно волосистые, листья заостренные, более длинные и вытянутые, от обратноланцетных до обратнояйцевидных, часто более 2 см дл. (до 5 см), столбики отогнутые в сторону (у *S. nipponica* – направлены вверх), молодые веточки с рассеянными волосками, редкие волоски есть и на черешках, а также по краю листа.

Genista germanica L. – Ветковский р-н, окр. д. Чистые Лужи, 1,2 км к СВ, сосняк мшистый у квартальной просеки, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, А. Саулов, 01.07.2021.

Epilobium tetragonum L. – Дубровенский р-н, окр. д. Сарвиры, 1,3 км к СВ, провобережье р. Днепр, у дороги среди поля, редко, Д. Дубвоик, С. Савчук. А. Скуратович, 11.08.2021.

Oenothera x acerviphila Rostanski (*O. depressa* Greene x *O. ammophila* Focke) – Гомельский р-н, г. Гомель, вблизи ст. Новобелицкая, к СЗ, левобережье р. Сож, травяные места вдоль ж.д. полотна, Д. Третьяков, 16.06.2010; Ветковский р-н, окр. д. Новоселки, склон коренного берега р. Сож на В окраине дер., открытый остепненный склон коренного берега реки Ю экспозиции А. Скуратович, 2010, MSK; Ветковский р-н, д. Однополье по пустошам в деревне, Д. Дубовик, А. Скуратович, 17.06.2010, MSK; Боестский р-н, окр. г. Брест, вблизи ж.д. ост. Скоки, 7 км к ССЗ от Бреста, на отметке 490 км, на ж.д. полотне, песок, Г. Вынаев, Д. Третьяков, 11.08.1977; Брестский р-н, окр. д. Козловичи, 4 км к З, у шоссейного моста через р. Буг, пойма р. Буг, на песке у дороги среди кустарников, Д. Третьяков, 16.07.1997; Каменецкий р-н, окр. д. Новоселки, ЮЗ окраина, у пограничной заставы, на песках вспаханной пограничной полосы, изредка, группами, Д. Третьяков, 26.07.1999.

Критический пересмотр ослинников в гербарии (MSK) позволил выделить этот гибрид. Он имеет волоски на гипантии простые и длинные, полуприжатые или прижатые, вверх направленные, на стебле есть редкие щетинистые волоски с красным бугорком у основания, бутоны на поверхности со слегка отстоящими волосками, их кончики у основания слегка сомкнуты или б.м. расходящиеся, листья узкие, до 10 мм шир., б.м. зубчатые, верхушка соцветия слегка наклоненная, зубцы завязи от вогнутых до слегка приостренных. Часть образцов из окр. г. Бреста K. Rostánski была определена как *O. ammophila*, хотя у него отсутсвуют железки на завязи.

Oenothera x *acutifolia* Rostanski (*O. rubricaulis* Klebahn x *O. ammophila*) – Гомельский р-н, СВ окр. г. Гомель, у д. Поколюбичи, 2 км к ЮЮВ, разреженная дубрава, Д. Третьяков, 2010, MSK. Вероятно, нередкий гибрид в южной части Беларуси.

Oenothera x *albipercurva* Renn. ex Hudziok (*O. biennis* L. x *O. ammophila*) – Добрушский р-н, окр. д. Закопытье, 0,7 км к З, у лесной дороги, Д. Дубовик, 2005. Гибрид встречается, веротяно, нередко в южной части Беларуси. Подобные гибридные особи отмечены в Брестском, Гомельском, Наровлянском, Лоевском, Добрушском, Петриковском, Ветковском и Лепельском районах.

Oenothera parviflora L. x O. *depressa* (*?O. paradoxa* Hudziok) – Жабинковский р-н, окр. ж.д. ст. Жабинка, 400 м к СВ, вдоль ж.д. полотна, Д. Третьяков, Я. Гузик, 02.09.2002, опр. Д. Дубовик.

Новый гибрид ослинников для флоры Беларуси. Имеет лепестки 7-8 мм дл., чашелистики с явными рожками, растение невысокое, опушение прижатое как у *O. depressa*, листья с б.м. частыми и глубокими зубцами., бутоны мелкие с хорошо расходящимися кончиками, сами кончики красноватые.

Cotinus obovatus Raf. – Могилевский р-н, г. Могилев, сквер напротив памятника воинам-интернационалистам, О. Ефимова, 02.07.2009; Брестский р-н, г. Брест, ул. А. Мицкевича, территория Брестского университета, у старого корпуса, в посадках, 1 экземпляр, Д. Третьяков, 20.05.1999; г. Брест, территория Брестской крепости, как декоративное, Д. Дубовик, 16.07.1999; Городокский р-н, д. Прудок, 0,5 км к СЗ, сплошные заросли совместно со спиреей, С. Дмитриева, С. Савчук, Т. Давидчик, В. Лебедько, 14.07.2017; Стародорожский р-н, г. Старые Дороги, выращивается в парке в центре города, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, В. Лебедько, 15.06.2016.

Новый таксон для флоры Беларуси. Имеет более крупные по сравнению с *Cotinus coggygria* Scop. листья 6-12 см дл., снизу часто опушенные, а не голые и до 7(8) см. дл.

Acer buergerianum Miq. – Шкловский р-н, окр. д. Вел. Михайлов, на дачных участках в культуре, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 14.07.2020. Вид привезен из г. Бреста.

Acer palmatum Thunb. ex Murray x A. *circinatum* Pursch – Брестский р-н, г. Брест, в городском парке, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, Н. Вахний, 10.10.2019.

Aesculus parvifolra Walt. – Минский р-н, д. Дички, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 30.06.2020.

Thesium ebracteatum Hayne – Житковичский р-н, окр. д. Березина, 0,2 км к СЗ, луговины в полосе отчуждения ж.д., нередко, Д. Дубовик, С. Савчук, 17.06.2021. Здесь же собрана *Potentilla recta* L. Крупский р-н, окр. д. Нача, 4 км к ЮВ, ур. «Высокие Горки», у дороги в сосняке мшистом, изредка, Д. Дубовик, В. Лебедько, С. Савчук, 28.07.2021. Здесь же отмечены *Koeleria mollis* W. Mann., Pulsatilla patens, *Veronica spicata* L., *Lotus callunetorum* (Juxip) Min.

Cervaria rivinii Gaertn. – Гомельский р-н, окр. д. Епифань, 2,2 км к ЮВ, по краю вырубки среди сосняка орлякового, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 17.04.2021. В окр. д. Епифань также отмечены *Genista germanica*, *Viola uliginosa* Bess., *Carex vaginata* Tausch, *Platanthera chlorantha*, *Pulmonaria angustifolia*, *Pulsatilla patens* (L.) Mill. Гомельский р-н, окр. д. Студеная Гута, 1,8 км к С, осняки мшисто-орляковые с березой у шоссе, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, А. Саулов, 29.06.2021. Здесь же отмечаны *Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl, *Salvia pratensis* L., *Pulmonaria angustifolia* L., *Erechtites hieraciifolius* (L.) Raf. ex DC., *Pulsatilla patens*, *Laserpitium prutenicum* L., *Rubus hirtus* Waldst. et Kit., *Thesium ebracteatum*, *Cruciata laevipes* Opiz, *Dryopteris assimilis* S. Walker.

Heracleum sibiricum L. x *H. sphondylium* L. – Пуховичский р-н, окр. о.п. Веленский, по щебенистой ж.д. насыпи, изредка, Д. Дубовик, 19.05.2007, фото.

У данного гибрида цветки беловатые с желтым оттенком, внешние лепестки краевых цветков мало увеличены.

Polygala amarella Crantz – Поставский р-н, окр. д. Крикалы, 0,4 км к ЮЗ, низкотравные луговины по склонам мореных холмов, нередко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 19.05.2021. Здесь же найдены *Gentiana cruciata* L. и *Botrychium lunaria* (L.) Sw. Островецкий р-н, окр. д. Трощаны, 0,3 км к В, открытые низкотравные луговины у дороги, нередко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 19.05.2021. В данном локалитете собраны *Ophioglossum vulgatum* L. и *Arabis sagittata* (Bertol.) DC. Поставский р-н, д. Долгое, низкотравные луговины по склонам мореных холмов, редко, Д. Дубовик, В. Лебедько, А. Саулов, 21.05.2021.

Calystegia spectabilis (Brummitt) Tzvel. – Докшицкий р-н, д. Осиновик, по пустошам у жилья, изредка, Д. Дубвик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 12.07.2021. Смолевичский р-н, г. Смолевичи, по пустошам у жилья, изредка, Д. Дубовик, В. Лебедько, С. Савчук, 26.07.2021. Здесь же найдены одичавшими *Bryonia alba* L. и *Cucumis melo* L. Крупский р-н, г. Крупки, сорное по пустошам у жилья, из редка, Д. Дубовик, В. Лебедько, С. Савчук, 27.07.21. Оршанский р-н, д. Понизовье, дичает, по пустошам, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 09.08.2021, наблюдение. Оршанский р-н, д. Смоляны, дичает по пустошам, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 09.08.2021. Оршанский р-н, д. Застенки,

дичает по пустошам, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 10.08.2021, наблюдение. Витебский р-н, д. Лятохи, на дачных участках, дичает, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 11.08.2021, наблюдение. Витебский р-н, г. Витебск, дичает по сорным местам, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 11.08.2021, наблюдение.

Brunnera sibirica Steven – Червенский р-н, окр. д. Виноградовка, 0,5 км к ЮВ, на обочине проселочной дороги у опушки леса, мусорные места, изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 06.10.2021.

Pulmonaria angustifolia L. – Крупский р-н, окр. г. Крупки, 2,4 км к ЮВ, сосняк орляково-кисличный, редко, Д. Дубовик, В. Лебедько, С. Савчук, 27.07.21. Здесь же в лесном массиве отмечены *Pulsatilla patens* (L.) Mill., *Arnica montana* L., *Lathyrus laevigatus* (Waldst. et Kit.) Gren., *L. linifolius* (Reichard) Bässler, *L. niger* (L.) Bernh., *Huperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank et Mart., *Erechtites hieraciifolius* (L.) Raf. ex DC., *Vicia cassubica* L., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Diphasiastrum* x *zeillerii* (Rouy) Holub, *Thalictrum aquilegifolium* L., *Hieracium sylvularum* Jord. ex Boreau, *Trifolium alpestre* L., *Carex vaginata* Tausch, *Phyteuma spicatum* L., *Vicia sylvatica* L., *Koeleria mollis* W. Mann.

Melampyrum cristatum L. – Гомельский р-н, окр. д. Романовичи, 4 км к С, левобережная пойма р. Сож, по берегу старичного озера в притеррасной части поймы, изредка, Д. Дубовик, В. Лебедько, А. Скуратович, А. Саулов, 01.07.2021. Вблизи данного локалитета отмечены *Chaerophyllum temulum* L., *Aristolochia clematitis* L., *Viola* x *stricta* Hornem.

Penstemon barbatus (Cav.) Nutt. – Гомельский р-н, д. Высокая Грива, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, А. Саулов, 02.07.2021. Здесь же отмечены *Euphorbia dulcis* L. (дает самосев), *Allium cyathophorum* Bureau et Franch. var. *farreri* (Stearn) Stearn., *Oxalis adenophylla* Gillies ex Hook. et Arn., *O. enneaphylla* Cav., *Chasmanthium latifolium* (Michx.) H.O. Yates, *Hakonechloa macra* (Munro) Honda, *Ranunculus alpestris* L., *Hebe odora* (Hook. f.) Cockayne, *Hylotelephium sieboldii* (Regel) H. Ohba, *Pteridophyllum racemosum* Sieb. et Zucc., *Gypsophilla cerastioides* D. Don, *Silene acaulis* (L.) Jacq., *Androsace studiosorum* Kress, *Draba lasiocarpa* Rochel, *Aster pilosus* Willd., *Rhodiola pachyclados* (Aitch. et Hemsl.) H. Ohba, *Veronica fruticulosa* L., *Penstemon pinifolius* Greene, *Saxifraga* x *geum* L., *S. fortunei* J. D. Hooker., *Viola palmata* L., *Clematis hirsutissima* Pursch var. *scottii* (Porter & Coult.) R.O. Erickson, *C. fremontii* S. Wats., *Saxifraga paniculata* Mill., *Edraianthus pumilio* (Port. ex Schult.) A. DC., *Corydalis ochroleuca*, *C. elata* Bureau et Franch. x *C. flexuosa* Franch., *C. bracteata* (Stephan) Pers, *Centaurea pindicola* Griseb., *Geranium sessiliflorum* Cav., *Polygonatum humile* Fisch. ex Maxim., *Cryptotaenia japonica* Hassk., *Anemonopsis macrophylla*, *Hacquetia epipactis* (Scop.) DC., *Acanthus hungaricus* (Borbás) Baen, *Deinanthe caerulea* Stapf.

Scopolia carniolica Jacq. – Поставский р-н, окр. д. Каптаруны, 0,6 км к СВ, на хуторе у границе с Литвой, дичает в небольшой осиновой роще, изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.05.2021; Поставский р-н, д. Романишки, у С. окраины, долина р. Пелянка, дичает

в ольсе крапивном, изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.05.2021.

Lonicera x *italica* Schmidt ex Tausch – Горецкий р-н, г. Горки, парк сельхозакадемии, Д. Дубовик, 28.06.2002.

Новый гибридный таксон для флоры Беларуси. Данный гибрид похож на *L. caprifolium* L., но имеет у основания завязи оберточки, которые равны половине длины завязи и закрывают её основание (У *L. caprifolium* завязь без оберточек или с единичными мелкими оберточками).

Lonicera nitida E.H. Wilson – Каменецкий р-н, г. Высокое, выращивается у жилья, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, А. Саулов, 09.04.2019.

Таксон близкий к L. nitida E.H. Wilson, но большинство листьев расположены почти под прямым углом к стеблю, они около 12-14 мм дл., верхушка листа округлая (из-за чего листья яйцевидной формы). Адаксиальная поверхность листа со срединной жилкой обычно нечеткой.

Scabiosa stellata L. – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 03.08.2020.

Asclepias incarnata L. – Глубокский р-н, д. Шуневичи, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 15.07.2021. Здесь же отмечены в культуре *Filipendula rubra* Juz., *Eutrochium purpureum* (L.) E.E. Lamont, *Trollius chinensis* Bunge, *Jasminum fruticans* L. (зимует несколько зим подряд), *Anemone virginiana* L., *Hypericum* x *hidcoteense* Hill. ex Geerinck., *Veronica virginica* L., *Alchemilla mollis*.

Callicarpa bodinieri H. Lev. – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 03.08.2020.

Lamium confertum Fries – Шкловский р-н, д. Озерье, по краю поля у деревни, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, А. Саулов, А. Солдаткин, 18.05.2018.

Новый вид для флоры Беларуси.

Lavandula x *intermedia* Loisel – Малоритский р-н, г. Малорита, на клумбе у автозаправки, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, В. Лебедько, 30.07.2019.

Scutellaria alpina L. – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Stachys affinis Bunge – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках как пищевое растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Thymus roegneri K. Koch (*Th. callieri* Borb. ex Velen.) – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020. Также известен в культуре в г. Бобруйск.

Ligustrum x *vicaryi* Rehder – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, А. Саулов, 08.04.2019.

Campanula cervicaria L. – Крупский р-н, окр. д. Прудок, 0,5 км к З, сосняк с беерзой мшисто-орляковый, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 29.07.2021. Здесь же отмечены *Pulsatilla patens*, *Arnica montana*, *Lathyrus linifolius*, *Digitalis grandiflora* Mill.

Aster x *frikartii* Frikart – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Aster x *patulus* Lam. (*Symphyotrichum* x *patulum* (Lam.) Karlsson) – Мядельский р-н, д. Степенево, на пустыре, В. Михайловская, 01.08.1953; Поставский р-н, д. Гута, в культуре и дичает, 16.08.2003, Д. Дубовик; !Мядельский р-н, д. Кобайлы, Ю побережье оз. Волчино, в ольсе, Д. Третьяков, Д. Дубовик, 28.07.2011, MSK; Вилейский р-н, д. Поповцы, дичает по пустошам, Д. Дубовик, А. Скуратович, 29.08.2013.

Новый для Беларуси гибридогенный таксон с локальным распространением.

Cirsium x *moravicum* Petrak (*C. arvense* (L.) Scop. x *C. rivulare* (Jacq.) All.) – Лунинецкий р-н, окр. г. Лунинец, 9,6 км к Ю, левобережная пойма р. Припять, межгривное низкое понижение с уровнем воды около 10 см, нередко, И. Степанович, Д. Дубовик, С. Савчук, 15.06.2021.

Centaurea majorovii Dumbadz. – Добрушский р-н, окр. ст. Добруш к Ю от вокзала, в зарослях из *Senecio erucifolius*, *Chondrilla juncea*, несколько экземпляров, В. Кречетович, 24.07.1926, LE, MSK.

Новый адвентивный вид для флоры Беларуси. У автора сбора он первоначально был определен как *C. maculosa*, позже М. Ильин с вопросом переопределил образец как *C. arenaria*. При более детальном изучении образцов они оказались принадлежащими *C. majorovii*, который был описан несколько позже определений указанных авторов, в 1946 г. Данный таксон хорошо отличается от близкого *C. stoebe* L. – белой перепончатой каймой по краю бахромок листочков обертки, сами корзинки более узкие, к верхушке заметно суженные. Известен в сопредельной Брянской области России [2].

Данный редкий в Европе гибрид указывается впервые для Беларуси.

Centaurea triumphettii All. – Воложинский р-н, окр. д. Криница, садовое товарищество «Криница-85», выращивается как декоративное растение, редко, О. Демьянчикова, 06.02.2007, фото.

Новый для флоры Беларуси таксон, который отличается от близкого к нему *Centaurea montana* L. светлыми придатки листочков обертки, сами придатки более длинные 2-3(4) мм дл., листья узколанцетные, цельнокрайные, или нижние выемчато-зубчатые.

Erechtites hieraciifolius (L.) Raf. ex DC. – Осиповичский р-н, окр. д. Татарка, 3 км к С, на крупной вырубке, часто, Д. Дубовик, А. Скуратович, 30.08.2021. Речицкий р-н, окр. д. Узнож, 2,2 км к ЗСЗ, на опушке сосняка с дубом черничного, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, 30.08.2021. Ре-

чицкий р-н, окр. г. Василевичи, 3,8 км к Ю, на опушке сосняка с дубом черничного и на врубке, нередко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 31.08.2021. Здесь же найдены *Rubus hirtus*, *Ambrosia artemisifolia* L. (встречается очень обильно по обочине шоссе), *Dentaria bulbifera*, *Platanthera chlorantha*. Калинковичский р-н, окр. д. Нахов, 1,4 км к ЮЗ, по вырубке, часто, Д. Дубовик, С. Савчук, А. Скуратович, 01.09.2021. Березинский р-н, окр. д. Кукарево, 1 км к Ю, осинник с дубом и елью кислично-снытевый, часто, Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 06.10.2021. Березинский р-н, окр. д. Богушевичи, 0,3 км к С, вырубка среди ельника кисличного, часто, Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 06.10.2021.

Pyrethrum corymbosum (L.) Scop. – Добрушский р-н, окр. д. Леонтьево, 4,7 км к ЮЮВ, сосняк с дубом кисличный, на опушке у шоссе, редко, Д. Дубовик, В. Лебедько, А. Скуратович, А. Саулов, 30.06.2021. Гомельский р-н, окр. д. Романовичи, 4 км к ССВ, вблизи лицея МВД, сосняк орляково-кисличный, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, А. Саулов, 01.07.2021. Здесь же найдена P. x notha.

Solidago flexicaulis L. – Берестовицкий р-н, д. Макаровцы, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 16.07.2019. В культуре известна его вариегатная форма.

Tulipa sylvestris L. – Поставский р-н, д. Романишки, у С окраины, закустаренная пустошь и опушки леса, несколько микрогруппировок, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.05.2021.

Anacamptis morio (L.) R.M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase – Глубокский р-н, окр. д. Зябки, 1,4 км к З, слева от ж.д. Зябки-Подсвилье, низкотравная луговина у ж.д., 3 экземпляра, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, А. Саулов, 03.06.2021. Здесь же у ж.д. отмечены *Trollius europaeus* L., *Listera ovata* (обильно), *Filipendula vulgaris* Moench, *Gladiolus imbricatus* L., *Trisetum flavescens* (L.) P. Beauv.

Listera ovata (L.) R. Br. – Поставский р-н, окр. г.п. Лынтупы, 1 км к З, сосняк с елью чернично-кисличный, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 18.05.2021.

*Carex paniculat*a L. – Докшицкий р-н, окр. д. Осиновик, у моста через р. Поня, изредка, Д. Дубовик, А. Скуратович, Т. Давидчик, 12.07.2021.

Carex paniculata x *C. appropinquata* Schum. – Минский р-н, д. Зацень, по берегу р. Цнянка, редко, Д. Дубовик, 19.08.2021.

Carex polyphylla Kar. et Kir. – Гродненский р-н, г. Гродно, между ул. Дубко и д. Лапенки, откос ж.д. пути, О. Оковицкая, 05.07.2018. Новый вид для флоры Беларуси, опр. А. Скуратович 04.06.2020.

Carex siderosticha Hance – Оршанский р-н, г. Орша, выращивается какдекоративное растение у жилья, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 10.08.2021. Здесь же отмечены *Clematis viticella* L., *Euphorbia epithymoides* L., *Geranium maculatum* L., *G. himalayense* Klotzsch, *Scopolia carniolica*.

Cyperus eragrostis Lam. – Березовский р-н, д. Шилин, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 03.08.2020.

Commelina communis L. –Гомельский р-н, окр. д. Студеная Гута, 1, 4 км к ЗЮЗ, у гостиничного комплекса «Ранчо», дичает на клумбах, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, В. Лебедько, 28.06.2021.

Drymochloa sylvatica (Pollich) Holub – Червенский р-н, окр. д. Виноградовка, 1 км к ЮВ, у края Ведрецкого болота, осиново-еловый кисличный лес, изредка, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, А. Саулов, 06.10.2021. Здесь же отмечена *Phyteuma spicatum*, а на самом болоте *Empetrum nigrum* L.

Elymus canadensis L. – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Pennisetum glaucum (L.) R. Br. – Берестовицкий р-н, д. Макаровцы, выращивается как декоративное растение, редко, Д. Дубовик, С. Савчук, В. Лебедько, 16.07.2019.

Schizachyrium scoparium (Michx.) Nash – Смолевичский р-н, окр. д. Волма, 2,5 км к ЮЮЗ, выращивается на дачных участках, редко, Д. Дубовик, А. Скуратович, С. Савчук, 24.07.2020.

Данный злак стал популярен в последние годы у цветоводов-любителей. Также отмечен в гг. Могилев, Гомель, Гродно, Витебск, Волковыск, г.п. Плещеницы Логойского р-на, дд. Высокая Грива Гомельского р-на и Черемушки Могилевского р-на.

Scolochloa festucacea (Willd.) Link – Пинский р-н, окр. д. Заозерье, 0,7 км к З, левобережная пойма р. Ясельда, заболоченный луг, нередко, И. Степанович, 15.06.2021.

Заключение. В аннотированном списке приведены данные о новых и редких для флоры Беларуси адвентивных, культивируемых и аборигенных видах растений, указаны новые местонахождения некоторых охраняемых растений. Указаны новые для флоры республики гибридные таксоны – *Cirsium* x *moravicum*, *Aster* x *patulus* и др.

Литература

1. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. редкол.: И. М. Качановский [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.

2. Маевский, П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. / П. Ф. Маевский // 11-е изд. — М.: Товарищество научн. изданий КМК, 2014. – 635 с.

3. Определитель высших растений Беларуси / Т. А. Сауткина [и др.]; под ред. В. И. Парфенова. – Минск: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.

4. Tropicos.org. Missouri Botanical Garden [Electronic resource]. Date of access: 24 September 2019. Mode of access. – Режим доступа: http: / www.tropicos.org. – Дата доступа: 18.07.2021.

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

UDK 582.32(4-11)(084.42)

O. M. MASLOVSKY

ANALYSIS OF THE EASTERN EUROPEAN BRYOFLORA BY THE GEOGRAPHICAL LATITUDINAL ELEMENTS

The V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: oleg.maslovsky@tut.by

Annotation. Based on the analysis of the distribution of 1350 species of Eastern European bryophytes in 400 squares, the possibility of quantitative determination of the geographical latitudinal elements of the bryoflora was substantiated. Six main (arctic, boreal, nemoral, arid, alpine and cosmopolitan) elements and 5 intermediate (arctic-boreal, boreal-nemoral, arcto-alpine, boreal-alpine and nemoral-alpine) were identified. The possibility of determination of nemoral-arid and arid-alpine geoelements was substantiated. Typical species for each element and maps of their distribution in the region were presented. The allocation of 463 species of bryophytes and the general geographical structure of the Eastern Europe bryoflora were shown.

Keywords: bryophyte, distribution, geographical analysis, bryoflora, Eastern Europe

О. М. МАСЛОВСКИЙ

АНАЛИЗ БРИОФЛОРЫ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ПО ГЕОГРАФИЧЕСКИМ ШИРОТНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: oleg.maslovsky@tut.by

Аннотация. На основе анализа распространения 1350 видов мохообразных Восточной Европы по 400 квадратам обоснована возможность количественного определения географических широтных элементов бриофлоры. Выделено 6 основных (арктический, бореальный, неморальный, аридный, альпийский и космополиты) элементов и 5 промежуточных (аркто-бореальный, бореально-неморальный, аркто-альпийский, бореально-альпийский и неморально-альпийский). Обоснована возможность выделения неморально-аридного и аридно-альпийского геоэлементов. Представлены типичные виды для каждого элемента и карты их распространения в регионе. Показано распределение 463 видов мохообразных и общая географическая структура бриофлоы Восточной Европы.

Ключевые слова: мохообразные, распространение, географический анализ, бриофлора, Восточная Европа

Introduction. Geographical element of flora – groups of species with similar areals [1]. Determination and analysis of geographical elements is one of the main aspects of the study of bryoflora in any region. The system of geographical elements of Eastern Europe bryoflora, which is used at the present time, was proposed by Lazarenko [2,3] and it is based on the determination as the main latitudinal elements with additions to the longitude principle. A similar approach is used in Western Europe, where arctic, taiga, temperate, alpine, and Mediterranean elements are most often distinguished [4–9 and others].

At the same time, atlantic, suboceanic, hyperoceanic elements are also often distinguished in Western European bryological phytogeographic works. So, Hill, Preston (1998), studied the geographical relationships of British and Irish bryophytes and species were divided into two distinct categories, one of Holarctic origin and the other of tropical and Southern Hemisphere origin, is confirmed for the British Isles. A system of elements established by the authors for British and Irish vascular plants is based on distribution in northern and western Eurasia, dividing the flora up first into latitudinal categories and secondly into longitudinal ones. For bryophytes also, two extra elements have been added, Hyperoceanic Temperate and Hyperoceanic Southern-temperate.

Theoretical questions of phytogeography of the bryophytes of Europe were considered by Fram [8], where the basic arrangement of zonal phytogeographical elements of bryophytes follows the three dimensional system of higher plants as well as animals. Thus we have in general the main N-S (arctic, boreal, temperate, Mediterranean), W-E (oceanic – continental) and vertical (planar, colline, montane, alpine) classification in bryophytes as in other groups. Some investigators also divided intermediate boreal-temperate, subboreal, subboreal-temperate, temperate-subcontinental, boreal-montane and others [4–6, 10].

Geographical analysis of the bryofloras and identification of different geoelements of bryophytes in Eastern Europe have been devoted many works [11–14] and many others. In total, over 20 geographic elements of bryophytes are determinates by bryologists in Eastern Europe. And their understanding and volume often varies, sometimes they overlap each other.

However, almost all of the investigations were based on expert analysis and do not use quantitative indicators. This increases the role of subjective evaluation and makes it difficult to study the dynamics of the species distribution and the specific of the geographic structures of the studied bryofloras. In addition, the quantitatively determination of geoelements on a single methodological basis creates additional possibilities for comparative bryofloriostic analysis of different regions.

Materials and methods. To determination of geographical elements, we mapping of distribution of bryophyte species on the territory of Eastern Europe as a whole. This territory was divided on 400 squares around 100 x 100 km (Fig.1). We determinates geographical broads of Europe according Atlas Florae Europaeae [15], when only northern part of Caucasus is included in Europe. Mapping if Arctic islands may be as a separate specific investigation and it is not included in aims of the work.

According of Biogeographic… [16], the territory of Eastern Europe was divided on 5 biogeography regions: arctic, alpine, boreal, nemoral (temperate), arid.

A some subregions were identified within these regions, according to the detailed Biogeographic map of Europe [17]. Its are reflection of the oceanic and continental climatic features of the area. In addition, the Black Sea subtropical region was divided, having the climate and biogeographical specifics.

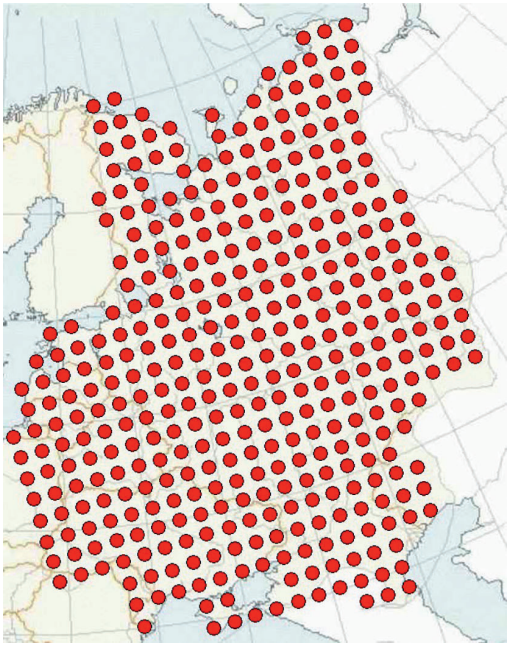


Fig. 1. Territory of mapping and dividing on squares

So, we analyzed the distribution of bryophytes on the territory of Eastern Europe in the following regions and subregions (Fig. 2):

– arctic (ARC);

– alpine or mountain (ALP), including APL1 (west of Kola Peninsula), ALP2 (Ural), ALP3 (Carpathians), ALP4 (the northern foothills of the Caucasus);

– boreal (BOR), including BOR-KAR (Karelia), BOR-PRI (Baltic countries, northern-west of Belarus and northern-west of Russia), BOR-TAI (northern-east of Belarus, eastern part of taiga zone of Russia);

– nemoral or temperate (NEM), which is divided on western (NEM-ZAP), central (NEM-CEN) and eastern (NEM-EAS) subregions;

– arid (ARI), including western (ARI-STR) and near Caspian (ARI-CAS).

– Black See (BLS) – specific region, which can be considered, on the one hand, as another mountain, and on the other, as a subtropical.

We calculated percentage from all number squares of Eastern Europe for each region and subregion, where bryophyte species was presented. When determination of base geographic elements of bryophytes, this percentage, as a rule, was more than 50% or significantly more than in other regions. For intermediate elements, the significant distribution of this species in other regions and some specific of ecology was also used.

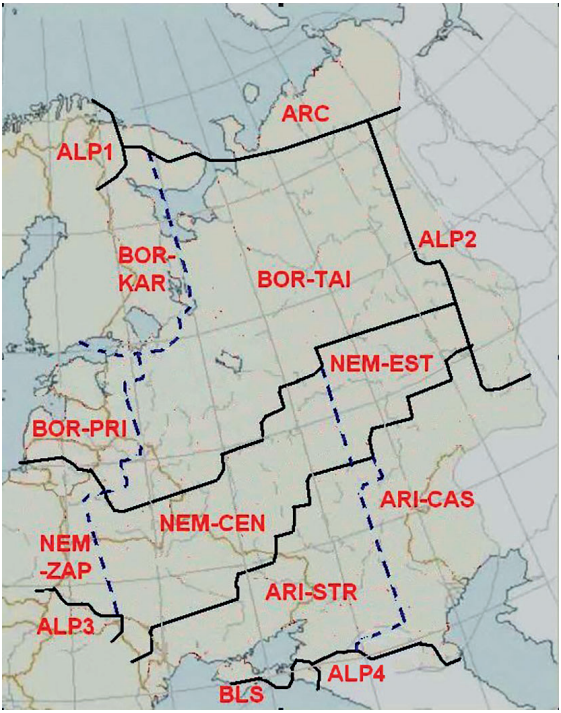


Fig. 2. Biogeographic regions and subregions of Eastern Europe

In more detail, this methodic was described in [18].

In total, more than 40 000 locations (squares) of 1350 bryophytes species were studied and mapped. The results of this study are presented below. The species systematics are given on base of [13, 14, 19, 20].

Results and discussion. According of Biogeographic regions in Europe [15] we divided 5 base elements of bryophytes in Eastern Europe: arctic, alpine, boreal, nemoral (temperate), arid and also group of cosmopolite. Also we divided some additional intermediate elements: arcto-alpine, boreal-alpine, boreal-arctic, boreal-nemoral, nemoral-alpine.

Only latitudinal elements of flora are considered in the present work. The system of the geographical elements reflects the modern distribution of the species according to data only on the territory of Eastern Europe. Addition investigations on the territory of all Europe and another continents get possibilities to correction of this elements for concrete species.

Arctic element. Arctic element of flora includes species whose areal are located in the Far North, in the zone of the continental tundra and on the Arctic islands [1]. A slightly different understanding of this element by Fram [10]: the

arctic element consists of relatively few species which are confined to the high arctic belt and do not show up in the Alps.

Typical arctic bryophytes are: *Tetraplodon paradoxus* (R.Br.) I.Hagen (ARC=100 %), *Drepanocladus arcticus* (R.S.Williams) Hedenäs (100 %), *Hygrohypnum polare* (Lindb.) Loeske (75 %), *Scapania obcordata* (Berggr.) S.W. Arnell (68 %), *Calycularia laxa* Lindb. et Arnell (67 %), *Pleurocladula albescens* (Hook.) Grolle (64 %), *Hypnum subimponens* Lesq. (62 %), *Psilopilum cavifolium* (Wilson) I.Hagen (60 %), *Scapania tundrae* (Arnell) H. Buch (60 %), *Polytrichum jensenii* I.Hagen (56 %), *Cinclidium arcticum* (Bruch et al.) Schimp. (50 %), *Prasanthus suecicus* Lindb. (50 %).

Arcto-alpine element. The arcto-alpine (arcto-montain) element is formed by species distributed in the Arctic and in the high-mountainous regions of Golartic [3]. This distribution is associated with Quaternary glaciation and the similarity of ecological conditions in the Arctic and in the highlands of more southern latitudes. I included in this element bryophytes, the distribution of which is not limited to the Arctic zone, but somewhat wider, including mountainous regions (mainly northern). The joint distribution of species in these two zones, as a rule, is more than 70 %, but a pronounced predominance of the distribution of bryophytes in one of the zones is not observed.

Typical arcto-alpine bryophytes in Eastern Europe are: *Andreaea rupestris v. papillosa* (Lindb.) Podp. (ARC+ALP=100 %), *Coscinodon cribrosus* (Hedw.) Spruce (91%), *Scapania obscura* (Arnell et C.E.O. Jensen) Schiffn. (90 %), *Pohlia crudoides* (Sull. & Lesq.) Broth. (86%), *Marsupella sprucei* (Limpr.) Bernet (86 %), *Kiaeria glacialis* (Berggr.) I.Hagen (86%), *Marsupella boeckii* (Austin) Kaal. (83 %), *Sarmenthypnum sarmentosum* (Wahlenb.) Tuom. & T. Kop. (82 %), *Aulacomnium turgidum* (Wahlenb.) Schwägr. (81 %), *Kiaeria falcata* (Hedw.) I.Hagen (80 %), *Lophozia pellucida* R.M. Schust. (80 %), *Hygrohypnum alpestre* (Sw. ex Hedw.) Loeske (80 %), *Dicranum spadiceum* J.E.Zetterst. (79 %), *Moerckia blyttii* (Moerch) Brockm. (78 %), *Cnestrum alpestre* (Wahlenb. ex Huebener) Nyholm ex Mogensen (77 %), *Oncophorus wahlenbergii v. compactus* (Bruch et al.) Braithw. (77 %), *Blindia acuta* (Hedw.) Bruch et al. (75 %), *Pohlia andrewsii* A.J.Shaw (75%), *Dicranella grevilleana* (Brid.) Schimp. (73 %), *Andreaea obovata* Thed. (72 %), *Psilopilum laevigatum* (Wahlenb.) Lindb. (72 %), *Anthelia juratzkana* (Limpr.) Trevis. (71%).

Boreal-arctic element. Some northern bryophytes distribute mainly in arctic conditions, but often occupier also and north part of boreal zone. This group is similar with arcto-alpine bryophytes, but have some specific. Joint distribution of the species in these two zones, as a rule, is more than 75 %, moreover, the proportion of boreal localities is, as a rule, more than 50 %, but the participation of the arctic locations is also significant (more than 25 %).

Typical boreal-arctic bryophytes in Eastern Europe are: *Andreaea crassinervia* Bruch (BOR+ARC=100%), *Encalypta mutica* I.Hagen (100 %), *Jungermannia polaris* Lindb. (100 %), *Catascopium nigritum* (Hedw.) Brid. (100 %), *Lophoziopsis rubrigemma* (R.M. Schust.) Konstant. & Vilnet. (100 %), *Sanionia orthothecioides* (Lindb.) Loeske (100%), *Bryum lapponicum* Kaurin, nom. illeg (100 %), *Dicranum leioneuron* Kindb. (91 %), *Brachythecium*

mildeanum v. udum (I.Hagen) Mönk. (90 %), *Tetralophozia setiformis* (Ehrh.) Schljakov (90 %), *Cephaloziella uncinata* R.M. Schust. (83 %), *Saccobasis polita* (Nees) H. Buch (82 %), *Tetrodontium repandum* (Funck) Schwägr. (80 %), *Schistochilopsis grandiretis* (Lindb. ex Kaal.) Konstant. (79 %), *Saccobasis polymorpha* (R.M. Schust.) Schljakov (76 %).

Alpine (mountain) element. This element is one of the most difficult and controversial. Some authors (for example, Bardunov, [21]: 81) consider that "mountain species are an ecological group rather than a zonal-geographical one."

In this regard, it should be borne in mind that mountains are a separate biogeographic region of Europe. Thus, the allocation of a separate geographic element is quite logical. The assignment of bryophytes, found only in the mountains, to the Alpine element is a reflection and a clear characteristic of their geographical distribution. This distribution is associated with its biology, evolution, the history of the formation of the area and the result of its adaptation to the specific ecological conditions of this region.

Typical alpine bryophytes in Eastern Europe (distribution in alpine region 100 %) are: *Brachydontium trichodes* (F.Weber) Milde, *Campylostelium saxicola* (F.Weber & D.Mohr) Bruch et al.,*Cynodontium bruntonii* (Sm.) Bruch et al., *C. gracilescens* (F.Weber & D.Mohr) Schimp., *C. asperfolium* (Lindb. & Arnell) Paris, *Dicranum dispersum* Engelmark, *Encalypta longicolla* Bruch, *Iwatzukiella leucotricha* (Mitt.) W.R.Buck & H.A.Crum, *Lindbergia grandiretis* (Lindb. ex Broth.) Ignatov & Ignatova, comb. nov., *Molendoa schliephackei* (Limpr. ex Schlieph.) R.H.Zander, *Orthotrichum vladikavkanum* Venturi, *Plagiothecium neckeroideum* Bruch et al., *Schistidium sinensiapocarpum* (Müll. Hal.) Ochyra, *Tayloria serrata* (Hedw.) Bruch et al., *Tetrodontium brownianum* (Dicks.) Schwägr.

Boreal-alpine element. Bryophytes of this element are distributed both in the boreal zone and in the mountains (totally more than 75 %, with the distribution in one of the zones not less than 30 %). But they did not reveal significant dominance to one of the zones and are intermediate between the boreal and alpine elements.

Typical boreal-alpine bryophytes (completely or almost completely distribute in boreal and alpine regions, wherein the proportion of them are approximately equal) are: *Anomobryum julaceum* (Schrad. ex P.Gaertn., B.Mey. & Scherb.) Schimp. (ALP=50%+BOR=50 %), *Brachythecium erythrorrhizon* Bruch et al. (31 %+58 %), *B. tommasinii* (Sendtn. ex Boulay) Ignatov & Huttunen (33 %+67 %), *Cnestrum schisti* (F.Weber & D.Mohr) I.Hagen (47 %+40 %), *Dicranum drummondii* Müll.Hal. (39 %+52 %), *D. muechlenbeckii* Bruch et al. (47 %+35 %), *Haplomitrium hookeri* (Sm.) Nees (30 %+60 %), *Harpanthus scutatus* (F. Weber et D. Mohr) Spruce (33 %+67 %), *Hygrohypnum duriusculum* (De Not.) D.W.Jamieson) (52 %+45 %), *H. norvegicum* (Bruch et al.) J.J.Amann (33 %+67 %), *Hypnum callichroum* Brid. (44 %+44 %). *H. hamulosum* Bruch et al. (40 %+50 %), *Isopterygiopsis alpicola* (Lindb. & Arnell) Hedenäs (50%+50%), J*ungermannia borealis* Damsh. et Vana (30 %+60 %), *J. eucordifolia* Schljakov (50 %+40 %),

Scapania cuspiduligera (Nees) Müll. Frib. (57 %+43 %), *Solenostoma confertissimum* (Nees) Schljakov (41 %+53 %), *Ulota curvifolia* (Wahlenb.) Lilj. (36 %+64 %), *Ulota drummondii* (Hook. & Grev.) Brid. (33 %+67 %).

Boreal element. Boreal bryophytes are most numerous, base of bryoflora Eastern Europe element. Boreal zone is the largest biogeographic region and occupies a central position. However, the number of boreal bryophytes is not so large when applying our quantitative approach than with traditional bryogeographic studies.

Typical boreal bryophytes in Eastern Europe (distribution in this region 100 %) are: *Aneura maxima* (Schiffn.) Steph., *A. mirabilis* (Malmb.) Wickett et Goffinet, *Aongstroemia longipes* (Sommerf.) Bruch et al., *Bryum mamillatum* Lindb., *B. marratii* Hook. f. & Wilson, *B. oblongum* Lindb., *Gymnomitrion obtusum* Lindb., *Orthotrichum pylaisii* Brid., *Drepanocladus angustifolius* (Hedenäs) Hedenäs & C.Rosborg, *Sphagnum affine* Renauld & Cardot, *Tortella rigens* Alberts.

Also boreal bryophytes in Eastern Europe are: *Heterogemma laxa* (Lindb.) Konstant. & Vilnet (BOR=92 %), *Calliergon megalophyllum* Mikut. (88 %), *Drepanocladus sordidus* (Müll.Hal.) Hedenäs (86 %), *Splachnum rubrum* Hedw. (86 %), *Philonotis falcata* (Hook.) Mitt. (85 %), *Sphagnum pulchrum* (Lindb. ex Braithw.) Warnst. (84 %), *Bryum salinum* I.Hagen ex Limpr. (83 %), *Grimmia ramondii* (Lam. & DC.) Margad. (83 %), *Orthocaulis atlanticus* (Kaal.) H. Buch (83 %), *Racomitrium ericoides* (Brid.) Bednarek-Ochyra & Ochyra (83 %), *Bryum knowltonii* Barnes (82 %), *Discelium nudum* (Dicks.) Brid. (82 %), *Splachnum sphaericum* Hedw. (81 %), *Calypogeia sphagnicola* (Arnell et J. Perss.) Warnst. et Loeske (80 %), *Cephaloziella arctogena* (R.M. Schust.) Konstant. (80 %), *Philonotis calcarea* (Bruch et al.) Schimp. (80 %), *Cephaloziella polystratosa* (R.M. Schust. et Damsh.) Konstant. (80 %), *Scapania calcicola* (Arnell et J. Perss.) Ingham (80 %) *Hygroamblystegium fluviatile* (Hedw.) Loeske (79 %), *Cinclidium stygium* Sw. (77 %), *Barbilophozia hatcheri* (A. Evans) Loeske (79 %), *Dichelyma falcatum* (Hedw.) Myrin (78 %), *Hypnum cupressiforme var. lacunosum* Brid. (78 %), *Breidleria pratensis* (W.D.J.Koch ex Spruce) Loeske (78 %), *Oleolophozia perssonii* (H.Buch & S.W.Arnell) L.Söderstr., De Roo & Hedd. (78 %), *Pohlia camptotrachela* (Renauld & Cardot) Broth. (78 %), *Rhizomnium magnifolium* (Horik.) T.J.Kop. (77 %), *Isothecium myosuroides* Brid. (77 %), *Riccia bifurca* Hoffm. (77 %), *Marchantia aquatica* (Nees) Burgeff (76 %), *Nardia insecta* Lindb. (76 %), *Bryum altaicum* Broth. (75 %), *Cephaloziella varians* (Gottsche) Steph. (75 %), *Dichelyma capillaceum* (Dicks.) Myrin (75%), *Gymnomitrion corallioides* Nees (75 %), *Kurzia pauciflora* (Dicks.) Grolle (75 %), *Racomitrium elongatum* Ehrh. ex Frisvoll (75 %), *Porella cordaeana* (Huebener) Moore (75 %), *Schistidium flexipile* (Lindb. ex Broth.) G.Roth (75 %) and some others.

Boreal-nemoral element. This element is intermediate and it combines species that grow mainly in the boreal and nemoral (temperate) zones, but at the same time there is no significant shift in their distribution to any one zone. Of course, with great desire these bryophytes could be attributed to any single element. But, in our opinion, a significant number of species have successfully

adapted to the habitat in the boreal and deciduous forests, and they can be identified in a separate element.

We classified to this element species, as a rule having a total of more than 70–75 % of the locations in these two zones, while the proportion of distribution in one zone ranged from 33 to 60 %.

Typical boreal-nemoral species in Eastern Europe are: *Amblystegium serpens var. juratzkanum* (Schimp.) Rau & Herv., *Atrichum tenellum* (Röhl.) Bruch et al., *A. undulatum* (Hedw.) P.Beauv., *Bazzania trilobata* (L.) Gray, *Callicladium haldanianum* (Grev.) H.A.Crum, *Campylidium sommerfeltii* (Myrin) Ochyra, *Cephalozia macrostachya* Kaal., *Cephaloziella hampeana* (Nees) Schiffn., *Dicranella heteromalla* (Hedw.) Schimp, *D. varia* (Hedw.) Schimp., *Dicranum viride* (Sull. & Lesq.) Lindb., *Ephemerum serratum* (Hedw.) Hampe, *Fissidens bryoides* Hedw., *Fossombronia foveolata* Lindb., *F. wondraczekii* (Corda) Lindb., *Herzogiella seligeri* (Brid.) Z.Iwats., *Heterogemma capitata* (Hook.) Konstant. & Vilnet, *Hygroamblystegium varium* (Hedw.) Mönk., *Lejeunea cavifolia* (Ehrh.) Lindb., *Lophocolea minor* Nees, *Nyholmiella gymnostoma* (Bruch ex Brid.) Holmen & E.Warncke, *Odonthoschisma denudatum* (Mart.) Dumort., *O. sphagni* (Dicks.) Dumort., *Orthotrichum speciosum* Nees, *Pellia endiviifolia* (Dicks.) Dumort., *P. epiphylla* (L.) Corda, *Phaeoceros laevis* (L.) Prosk., *Philonotis marchica* (Hedw.) Brid., *Physcomitriella patens* (Hedw.) Bruch et al., *Physcomitrium pyriforme* (Hedw.) Hampe, *Plagiochilla asplenioides* (L. emend. Taylor) Dumort., *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T.J.Kop., *P. cuspidatum* (Hedw.) T.J.Kop., *P. elatum* (Bruch et al.) T.J.Kop., *P. ellipticum* (Brid.) T.J.Kop., *P. rostratum* (Schrad.) T.J.Kop., *P. undulatum* (Hedw.) T.J.Kop., *Plagiothecium cavifolium* (Brid.) Z.Iwats., *P. curvifolium* Schlieph. ex Limpr., *P. denticulatum* (Hedw.) Bruch et al., *P. denticulatum* v. *undulatum* R.Ruthe ex Geh., *Platygirium repens* (Brid.) Bruch et al., *Pleuridium subulatum* (Hedw.) Rabenh., *Pleurozium shreberi* (Brid.) Mitt., *Pohlia annotina* (Hedw.) Lindb., *Polytrichum formosum* Hedw., *Pylasiella polyantha* (Hedw.) Grout), *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst., *Riccia cavernosa* Hoffm., *R. sorocarpa* Bisch., *Sciuro-hypnum oedipodium* (Mitt.) Ignatov & Huttunen, *Thuidium assimile* (Mitt.) A.Jaeger, *T. delicatulum* (Hedw.) Bruch et al., *Tortula truncata* (Hedw.) Mitt., *Trematodon ambiguus* (Hedw.) Hornsch., *Trichocolea tomentella* (Ehrh.) Dumort., *Ulota coarctata* (P.Beauv.) Hammar, *Ulota crispa* (Hedw.) Brid. and some others.

Nemoral (temperate) element. There are few typical nemoral bryophytes in Eastern Europe, because zone of wide broad leaf forests is a relatively narrow triangle, with a wide base on the west and tapering to the east. Many species adapted to the nemoral conditions relatively easily find suitable habitats in the southern part of the boreal zone and in the north of the steppe, where there are separate forest fragments, or in the southern mountains. So many bryophytes, which are often regarded as typical nemoral species, classified by us according to their geographical position in the modern as boreal-nemoral.

According this quantitative estimation, the typical nemoral bryophytes in Eastern Europe may be those species, the area where most of it is in the area

nemoral: *Acaulon muticum* (Hedw.) Müll.Hal., *Aloina ambigua* (Bruch et al.) Limpr., *Bryum violaceum* Crundw. & Nyholm, *Dicranoweisia cirrata* (Hedw.) Lindb., *Dicranum tauricum* Sapjegin, *Lophocolea bidentata* (L.) Dumort., *Orthotrichum lyellii* Hook. & Taylor, *O. pallens* Bruch ex Brid., *O. patens* Bruch ex Brid., *O. pumilum* Sw. ex anon., *O. striatum* Hedw., *Oxyrrhynchium speciosum* (Brid.) Warnst., *Pelekium minutulum* (Hedw.) Touw, P*hyscomitrium eurystomum* Sendtn., *P. sphaericum* (C.F.Ludw. ex Schkuhr) Brid., *Plagiothecium succulentum* Wilson) Lindb., *Pleuridium acuminatum* Lindb., *Pohlia melanodon* (Brid.) A.J.Shaw, *Porella platyphylla* (L.) Pfeiff., *Pseudephemerum nitidum* (Hedw.) Loeske, *Pterigynandrum filiforme* Hedw., *Pyramidula tetragona* (Brid.) Brid., *Radula complanata* (L.) Dumort., *Riccia canaliculata* Hoffm., *R. ciliata* Hoffm. s. l., *R. ciliifera* Link ex Lindenb., *R. glauca* L., *R. huebeneriana* Lindenb., *R. rhenata* Lorb. ex Müll. Frib., *Seligeria calcarea* (Hedw.) Bruch et al., *Solenostoma gracillimum* (Sm.) R.M. Schust., *Weissia brachycarpa* (Nees & Hornsch.) Jur. and some others.

Nemoral-alpine element. This element is not often distinguished by bryologists. But the presence of this element is logical together with the arctic-alpine, boreal-alpine elements. Nemoral-alpine element unites species that are mainly (more than 60 %) distributed in the zone of deciduous forests and mountains. At the same time, there is no obvious determination of the distribution of these species in one of the zones. On the whole, these species are more typical for central Europe and they are concentrated mainly in the western part of the studied region.

There are few typical nemoral-alpine bryophytes: *Cinclidotus fontinaloides* (Hedw.) P.Beauv., *Cirriphyllum crassinervium* (Taylor) Loeske & M.Fleisch., *Diphyscium foliosum* (Hedw.) D.Mohr, *Entosthodon fascicularis* (Hedw.) Müll. Hal, *Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth., *Homalothecium philippeanum* (Spruce) Bruch et al., *Hypnum imponens* Hedw., *Metzgeria conjugata* Lindb. s. l., *M. pubescens* (Schrank) Raddi, *M. violacea* (Ach.) Dumort, *Pallavicinia lyellii* (Hook.) Carruth., *Plasteurhynchium striatulum* (Spruce) M.Fleisch., *Taxiphyllum densifolium* (Lindb. ex Broth.) Reimers and some others.

Arid element. Bryophytes of this elements in its distributions are connected mainly with steppe zone and near desert territories.

Typical arid bryophytes in Eastern Europe (more that 50 % points in arid zone) are: *Pterygoneurum kozlovii* Laz. (ARI=89 %), *Microbryum curvicollum* (Hedw.) R.H.Zander (88 %), *Syntrichia handelii* (Schiffn.) S.Agnew & Vondr. (80 %), *Entosthodon hungaricus* (Boros) Loeske (75 %), *Physcomitrium eurystomum subsp. acuminatum* (Bruch et al.) Giacom. (75 %), *Syntrichia caninervis* Mitt. (71 %), *Weissia rostellata* (Brid.) Lindb. (71 %), *Physcomitrium arenicola* Laz. (68 %), *Riccia papillosa* Moris (67 %), *Pterygoneurum lamellatum* (Lindb.) Jur. (60 %), *Riccia frostii* Austin (57 %), *Imbribryum alpinum* (Huds. ex With.) N.Pedersen (55 %), *Grimmia anodon* Bruch et al. (52 %), *Pterygoneurum subsessile* (Brid.) Jur. (55 %), *Acaulon triquetrum* (Spruce) Müll.Hal. (50 %), *Grimmia plagiopodia* Hedw. (50 %), *Scorpiurium circinatum* (Brid.) M.Fleisch. & Loeske (50 %), *Tortula atrovirens* (Sm.) Lindb. (50 %) and some others.

Arid-alpine element. Determination of its geographic elements are needed in additional investigations in other part of Europe and in another part of Asia. Probably, some arid bryophytes may be attributed as arid-montane.

Cosmopolite. There are also group of very widely distributed bryophytes on the territory of Eastern Europe, that have traditionally distinguished as cosmopolitans: *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Conocephalum conicum* (L.) Dumort. s.l., *Funaria hygrometrica* Hedw., *Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson, *Marchantia polymorpha* L., *Riccia fluitans* L., *Ricciocarpus natans* (L.) Corda, *Schistidium apocarpum* (Hedw.) Bruch et al. and some others.

At the same time, a number of researchers identify a group of multizone species, whose distribution is very wide in Eastern Europe (in all zones), but still less than that of cosmopolitans, if we consider the entire globe. The determination of such species requires additional research.

Discussion. The geographical elements structure of Eastern Europe bryoflora structure similar to traditional studies in the region, however it has its own peculiarities (Fig. 3).

As was to be expected, the most numerous were boreal species (31 %), but their share is much less than in usual similar studies (55–65 %). This is due to stricter quantitative determination method geographical elements and a release-boreal-arctic, boreal-alpine, boreal-nemoral elements, which together constitute more than 50 %. Such an approach makes it possible to conduct a more detailed analysis of the geographical structure of bryoflora.

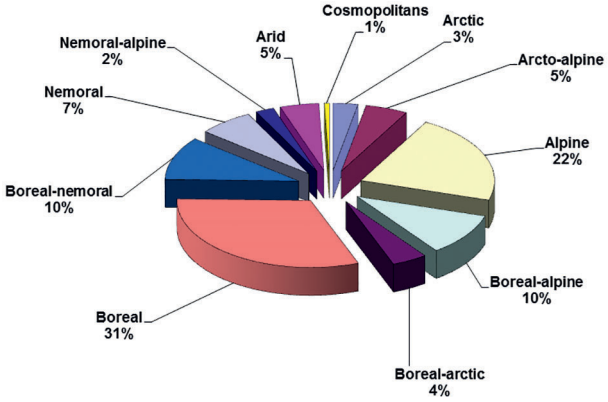


Fig. 3. Geographical elements structure of Eastern Europe bryoflora

A significant share is also alpine bryophytes (22 %) and its together with arcto-alpine, boreal-alpine and nemoral-alpine make up 39 %. In our opinion, this is connected with mountain genesis of many species of bryophytes and a wide specter of environmental conditions of the mountain systems in the region. Typical arctic, nemoral and arid bryophytes occupies minor shares: 3 %, 7 % and 5 % respectively.

Theoretically, in general, the system of geographical elements of the Eastern Europe bryoflora can be represented as follows (Fig. 4).

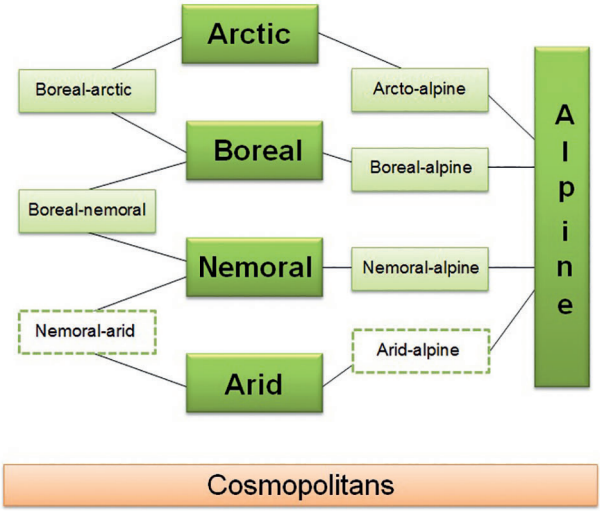


Fig. 4. System of geographical elements of the Eastern Europe bryoflora

The system is based on 5 geographic elements: 4 zonal (arctic, boreal, nemoral and arid) and azonal (alpine). All of them are separate biogeographical regions according to Biogeographic map of Europe [17]. Between them there are intermediate geographic elements (boreal-arctic, boreal-nemoral and prognosis nemoral-arid), both between the zonal and between the zonal and alpine (arcto-alpine, boreal-alpine, nemoral-alpine and prognosis arid-alpine). A separate group consists of cosmopolitans. Prognosed two intermediate elements (nemoral-arid and arid-alpine) are not considered in this paper, since they require additional research outside Eastern Europe, especially in Central Asia, the Caucasus and the Mediterranean.

References

1. Dictionary of Botanical Terms [Slovar botanicheskich terminov] 1984. I. A. Dudka (ed.); Naukova Dumka, Kiev: 308 p. (In Russ.).

2. Lazarenko A.S. 1944. Nemoral element in the bryoflora of the Soviet Far East. [Nemoralnyi element bryoflory Dal'nego Vostoka]. *Sovetskaya botanika*, (6): 43–55. (In Russ.).

3. Lazarenko, A.S. 1956. Osnovnye prinzipy klassiphkaczii arealov listvennych mchov Sovetskogo Dal'nego Vostoka [Main principles of classification of areal of musci frondosi of Soviet Far East]. *Ukrain. botan. zhurn*., 13(1), 96–117. (In Russ.).

4. Düll, R., Meinunger, L., 1989: Deutschlands Moose. 1. Teil. IDH – Verlag, Bad Münstereifel, 368 pp.

5. Düll, R., 1994a: Deutschlands Moose. 2. Teil. IDH – Verlag, Bad Münstereifel, 211 pp.

6. Düll, R., 1994b: Deutschlands Moose. 3. Teil. IDH – Verlag, Bad Münstereifel, 256 pp.

7. Hill M., Preston C. (1998) The geographical relationships of British and Irish bryophytes. Journal of Bryology, 20:1, 127-226.

8. Frahm J.-P. (2012) The phytogeography of European bryophytes. Botanica Serbica, 36:23-36.

9. Kučera J. 2017. Bryoflora of the Czech Republic, pp. 165–176. – In: Chytrý M., Danihelka J., Kaplan Z., Pyšek P. (eds), Flora and Vegetation of the Czech Republic. Plant and Vegetation, vol 14. Springer, Cham.

10. Mišíková K., Mišík M., Kubinská A., 2007: Bryophytes of the forest park Hôrka (Veľký Krtíš town, Slovakia). Acta Botanica Univ. Comen., 43: 9-13.

11. Rykovsky G. F. 1980. Mohoobraznye Berezinskogo biosphernogo zapovednica [Bryophyta of the Berezinsky biosphere reserve]. Minsk: 136 p. . (In Russ.).

12. Kostantinova N.A. 2000. Analis arealov pechenochnikov severa Golarktiki [Distribution paterns of the North Holarctic hepatics]. *Arctoa* 9: 29-94. (In Russ.).

13. Ignatov M. S., Ignatova E. A. 2003. Flora mchov sredneij chasti evropeiskoi Rossii. Tom 1 Sphagnaceae – Hedwigiaceae. [Moss flora of the Middle European Russia Vol. 1. Sphagnaceae – Hedwigiaceae].Moscow, KMK. 608 pp. (In Russ.).

14. Ignatov M. S., Ignatova E. A. 2003. Flora mchov sredneij chasti evropeiskoi Rossii. Tom 2 Fontinalaceae-Amblystegiaceae. [Moss flora of the Middle European Russia Vol. 2. Fontinalaceae-Amblystegiaceae]. Moscow, KMK pp: 609-960. (In Russ.).

15. Atlas Florae Europaeae (1972), Vol. 1. Cambridge University Press.

16. Biogeographic map of Europe: Rivas-Martínez S., Penas A. & Díaz T.E. 2004, March, 4), Cartographic Service. University of León, Spain.

17. Biogeographic map of Europe: S.Rivas-Martínez, A. Penas & T.E. Díaz (2004, March, 4), Cartographic Service. University of León, Spain.

18. Maslovsky O. 2017. Atlas of rare and threatened bryophytes of Eastern Europe as candidates to new European Red List. Minsk: Nauka: 100 p.

19. Hodgets N.G. 2015 Checklist and country status of European bryophytes – towards a new Red List for Europe. *Irish Wildlife Manuals*, No. 84. National Parks and Wildlife Service, Department of Arts, Heritage and the Gaeltacht, Ireland. 130 pp.

20. Potemkin A. D., Sofronova E. V. 2009. Pechenochniki i antotserotovye Rossii. T. 1 [Liverworts and hornworts of Russia. Vol. 1]. St. Petersburg; Yakutsk: 368 p. (In Russ.).

21. Bardunov L.V. 1974. Listostebelnye mchi Altaya i Sayan [Mosses of the Altai and Sayan Mts.]. Novosibirsk, Nauka. 168 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 11.10.2021 г.

УДК: 502.75:581.5:711.582.5

Л. С. ЧУМАКОВ, А. В. ЛЕВКОВИЧ, О. М. МАСЛОВСКИЙ,
Н. Г. РЫБКО, И. П. СЫСОЙ, Р. В. ШИМАНОВИЧ, П. А. РОДИОНОВ

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ И ИСЧЕЗАЮЩИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МИНСКА

Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: dianthus2013@gmail.com

Аннотация. Изучено распространение редких и исчезающих видов растений и грибов на территории г. Минска. Выявлено 89 новых мест произрастания 12 видов растений и грибов из основного списка Красной книги Республики Беларусь. Всего в городе в настоящее время насчитывается (с учетом уже взятых под охрану и вновь найденных) 110 мест произрастания 16 охраняемых видов растений и грибов. Выполнена оценка состояния и характер распределения этих видов по лесам разных типов. Показаны изменения в популяциях за последние годы.

Ключевые слова: растения, грибы. редкие и исчезающие виды, Минск, экологические условия, рекреационная нагрузка

L. S. CHUMAKOV, A. V. LEVKOVICH, O. M. MASLOVSKY,
N. G. RYBKO, I. P. SYSOY, R. V. SHIMANOVICH, P. A. RODIONOV

SPATIAL DISTRIBUTION AND ASSESSMENT OF THE STATE OF POPULATIONS OF RARE AND ENDANGERED PLANT SPECIES ON TERRITORY OF MINSK

V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: dianthus2013@gmail.com

Annotation. The distribution of rare and threatened species of plants and fungi in the territory of Minsk has been studied. 89 new localities of 12 species of plants and fungi from the Red Book of the Republic of Belarus have been identified. In total, in the, there are currently 110 localities of 16 protected species of plants and fungi. The assessment of the state and nature of their distribution of these species in forests of different types has been carried out. Changes in populations in recent years are shown.

Keywords: plants, fungi, rare and threatened species, Minsk, ecological conditions, recreational pressure

Введение. В настоящее время в связи с расширением сферы воздействия человека на природные экосистемы, многие редкие и исчезающие виды растений, испытывающие негативное воздействие, сокращают свою численность либо целиком выпадают с территорий, где экологические условия среды оказываются малопригодными для их жизнедеятельности. В связи с этим важное значение приобретают исследования на урбанизированных, селитебных территориях с мощной антропогенной нагрузкой, где редкие виды находятся на грани вымирания. Проведе-

ние таких исследований необходимо как с точки зрения выявления еще сохранившихся мест произрастания редких растений, оценки состояния их популяций, так и для разработки мероприятий по сохранению редких растений при градостроительном планировании.

Город Минск активно расширяет свою территорию в последние десятилетия, что негативно отражается на природных комплексах, в прежние годы располагавшихся за пределами городской черты, а ныне присоединенных к городу. Кроме того, возрастающее число жителей города усиливает рекреационную нагрузку на городские леса и прочие природные участки, приводя к обеднению здесь растительных сообществ и их качественным и количественным перестройкам. Для сохранения редких видов растений на землях белорусской столицы необходимо проведение целенаправленных исследований, направленных как на выявление мест их произрастания на новых землях города, так и оценку состоянии уже известных популяций. Это и явилось целью наших исследований.

Анализ литературы по данному вопросу, показал, что только для г. Минска и его окрестностей приводятся сведения о 79 видах редких растений, которые были обнаружены здесь в разное время [1–6]. В 4 издании Красной книги Республики Беларусь приведены сведения о 14 видах грибов и 80 видах высших растений, произрастающих, а также уже выпавших с территории г. Минска и Минского района в течение прошлого столетия [7]. Однако большинство этих сведений не позволяют судить о пространственном распределении редких растений на территории города и на включенных в городскую черту новых землях, количественных характеристиках популяций отдельных видов, состоянии популяций и т. д., что не дает достоверной картины сохранности редких видов растений в пределах белорусской столицы в настоящее время.

К началу 2020 г. на территории г. Минска под охраной находились 22 места произрастания 11 видов растений, включенных в Красную книгу Республики Беларусь. Однако их состояние неустойчивое и требует постоянного мониторинга. Кроме того, за последние годы территория города значительно расширилась. В связи с этим и возникла необходимость проведение наших исследований.

Объекты и методы исследований. Работа выполнялась на территории г. Минска как в границах МКАД, так и за их пределами на землях, присоединенных к городу и планируемых под реконструкцию, застройку и другие типы освоения со стороны железнодорожной станции Озерище, а также между поселком Большой Тростенец и микрорайоном Сосны.

Непосредственно в границах МКАД обследованы все лесные массивы и лесопарки г. Минска, пойма р. Свислочь, окрестности водохранилища Дрозды и Цнянское, луговые пустошные пространства и заболоченные участки на востоке – юго-востоке города, небольшое болото на юго-западе вблизи МКАД, пустыри и лесополосы вдоль железных дорог и т. п.

Сбор материала проводили маршрутным методом. Проводился мониторинг существующих популяций. Выявленные популяции редких видов картировали, регистрировали их координаты, выполняли стандартное описание, включающее оценку численности, плотности, фенофаз, возрастного состава, характера распределения на местности, состояния растений и экологических условий места произрастания.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе проведенных исследований выявлено 89 новых мест произрастания 12 видов растений и грибов из основного списка Красной книги Республики Беларусь.

Всего в городе в настоящее время насчитывается (с учетом уже взятых под охрану и вновь найденных) 110 мест произрастания 16 видов растений и грибов:

1. *Ajuga pyramidalis* L. – Живучка пирамидальная – 2 места,
2. *Arnica montana* L. – Арника горная – 27 мест,
3. *Campanula latifolia* L. – Колокольчик широколистный – 1 место
4. *Corallorhiza trifida* Chatel. – Ладьян трехнадрезный – 1 место,
5. *Cucubalus baccifer* L. – Волдырник ягодный – 1 место,
6. *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br. – Кокушник длиннорогий – 1 место,
7. *Laserpitium latifolium* L. – Гладыш широколистный – 14 мест,
8. *Lathyrus laevigatus* (Waldst. et Kit.) Gren. – Чина гладкая – 4 места,
9. *L. linifolius* (Reichard) Bassler – Чина льнолистная – 12 мест,
10. *Lilium martagon* L. – Лилия кудреватая – 18 мест,
11. *Prunella grandiflora* (L.) Scholl. – Черноголовка крупноцветковая – 8 мест,
12. *Pulmonaria angustifolia* L. – Медуница узколистная – 1 место,
13. *Pulsatilla patens* (L.) Mill. – Прострел раскрытый – 16 мест,
14. *Sparassis crispa* (Wulfen:Fr.) Fr. – Спарассис курчавый – 2 места,
15. *Salix myrtilloides* L. – Ива черничная – 1 место,
16. *Trollius europaeus* L. – Купальница европейская – 1 место.

Из Списка профилактической охраны Красной книги Республики Беларусь зарегистрированы 13 видов растений: *Anthericum ramosum* L., *Campanula persicifolia* L., *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Daphne mezereum* L., *Digitalis grandiflora* Mill., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Goodyera repens* (L.) R. Br., *Hepatica nobilis* Mill., *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Primula veris* L. и *Thalictrum aquilegifolium* L., а также березовый гриб чага (*Inonotus obliquus* (Pers.) Pilat.) и гриб веселка обыкновенная (*Phallus impudicus* (L.) Pers.).

Чаще встречаются чина льнолистная и гладкая, лилия кудреватая и гладыш широколистный. На землях, присоединенных к городу в последние годы, помимо этих растений местами довольно обильны арника горная, прострел раскрытый и черноголовка крупноцветковая. В единичных местах произрастания на территории Минска зарегистрированы ладьян трехнадрезный, колокольчик широколистный, ива черничная, волдырник ягодный, купальница европейская и др.

По территории города редкие виды растений распределены крайне неравномерно (рис. 1). Большинство их более обычны в присоединенных к городу лесах за пределами МКАД. Их распространение здесь обусловлено довольно большим числом факторов, среди которых существенное значение имеют такие как тип леса, характер рельефа, почвенный покров, характер и степень антропогенной нагрузки в настоящее время и в недавнем прошлом.

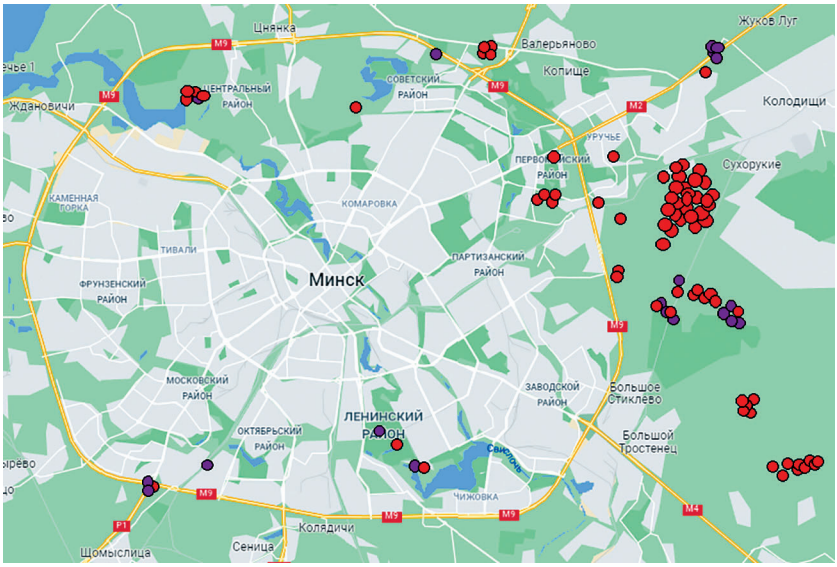


Рис. 1. Распределение мест произрастания редких и исчезающих видов растений на территории г. Минска (сиреневым цветом обозначены места произрастания, уже взятые под охрану, красным – вновь выявленные)

Fig. 1. Distribution of places where rare and endangered plant species grow on the territory of Minsk (lilac color indicates places of growth that have already been taken under protection, red – newly identified)

Основными центрами концентрации редких и исчезающих видов растений на территории Минска являются (рис.2):

1. Лесные земли на восточной окраине г. Минска между МКАД и ж/д о.п. Озерище.
2. Территория биологического заказника «Стиклево».
3. Лесные массивы между микрорайонами Большой Тростенец и Сосны
4. Смешанные широколиственные, а также аллювиальные леса в окрестностях водохранилища Дрозды в пределах г. Минска (лесопарк «Дрозды»).

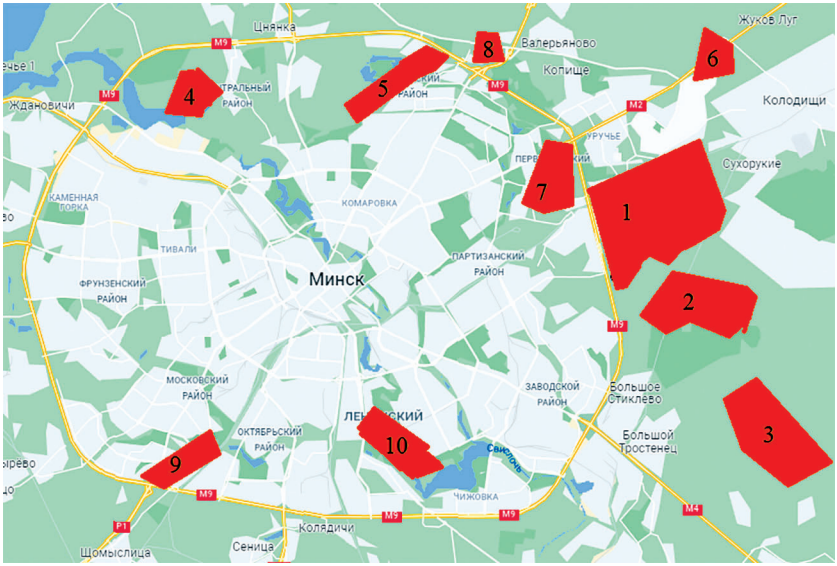


Рис. 2. Распределение основных центров редких и исчезающих видов растений на территории г. Минска

Fig. 2. Distribution of the main centers of rare and endangered plant species on the territory of Minsk

5. Лесные массивы в окрестностях Цнянского водохранилища (Северный лесопарк), в том числе деградирующий сосновый лес в границах улиц Олешева, Подольской, Стефании Станюты.

6. Сосново-еловые леса с примесью широколиственных пород в окрестностях ул. Фогеля и Гуртьева.

7. Старовозрастные сосновые и сосново-еловые леса в границах ул. Филимонова – Парниковая – Скорины.

8. Лесной массив между МКАД и автодорогой Заславль – Колодищи в районе ул. Маневича.

9. Переходное болото в месте пересечения пр-та Дзержинского и МКАД (участок Natura 2000).

10. Фрагменты широколиственных лесов на склонах приречного вала р. Свислочь в южной части города (Лошицкий усадебно-парковый комплекс).

Наиболее богатым составом редких и исчезающих видов растений характеризуются лесные земли на восточной окраине г. Минска между МКАД и ж/д о.п. Озерище. Своеобразность рекреационной нагрузки и ограничение посещения этих лесов жителями города сказались на формировании сообщества редких видов растений. Леса здесь представ-

лены преимущественно сосняками орлякового и мшистого типов. Реже встречаются сосняки вересковые и черничные, березняки орляковые, мшистые и вересковые, ельник орляковый, кленовник орляковый, формирующийся на месте вырубки, а также осинники кисличный, мшистый и орляковый.

Комплекс редких и исчезающих видов растений на этой территории включает арнику горную, черноголовку крупноцветковую, гладыш широколистный, прострел раскрытый, лилию кудреватую, купальницу европейскую и живучку пирамидальную. Изредка встречается включенный в Красную книгу Беларуси гриб спарассис курчавый. Эти виды растений в целом зарегистрированы в 49 местах произрастания. Богатым составом этих растений и значительной их плотностью характеризуются сосновые леса [8].

Arnica montana довольно широко распространена в сосновых лесах всех типов, однако произрастает крайне неоднородно. В зависимости от условий места произрастания плотность розеток на 1 м^2 колеблется довольно существенно: в сосняках орляковых – 1–32 экз./м^2, мшистых – 1–21 экз., а вересковых – 7–26 экз./м^2. Средняя плотность арники в местах ее произрастания в сосняках орляковых составила 10,7±0,70 экз/м^2, а в сосняках мшистых – 7,9±1,83 экз/м^2. Статистически достоверной разницы не наблюдается, что может указывать на сходный характер произрастания арники горной в лесах этих типов.

Широко представлена арника и в березняках, отдавая предпочтение березнякам орляковым. В березняках всех типов на этой территории выявлено более 0,5 тыс. экз. розеток арники, образующих скопления от 1 до 14 экз./м^2.

Prunella grandiflora выявлена в 8 местах произрастания в сосняках и березняках орлякового типа, а также в сосняке мшистом. 44,4 % мест произрастания приходятся на сосняки орлякового типа. Растет как единичными экземплярами, так и небольшими группами с плотностью 1–10 экз./м^2. На отдельных участках произрастает совместно с арникой горной.

Экологические условия сосняков орляковых благоприятны и для *Lilium martagon*, цветение которой, вероятно, способствует не только сохранению этого редкого растения, но и некоторому его распространению по территории. В настоящее время численность лилии кудреватой здесь невелика и встречается она отдельными единичными экземплярами.

Pulsatilla patens в этом лесном массиве распространен также не широко. Встречается в сосняках орляковых, мшистых и вересковых, березняках орляковых и вересковых. Обнаружен в шести местах произрастания на востоке и севере территории в количестве 15 экз. растет преимущественно единичными особями. Наблюдается его совместное произрастание с арникой горной и черноголовкой крупноцветковой.

Крайне редки в лесах на обследованной территории *Ajuga pyramidalis* и *Trollius europaeus*, представленные единичными особями. Живучка отмечена на опушке сосняка орлякового со стороны МКАД, а купальница

выявлена в березняке орляковом, где растет совместно с гладышем широколистным и первоцветом весенним. В месте произрастания занимает площадь порядка 3 м^2, образуя довольно плотную заросль. Растущая вблизи населенного пункта купальница испытывает негативное влияние со стороны местных жителей, периодически выкапывающих отдельные растения для озеленения на приусадебных участках.

В сосняках мшистых и орляковых, а также в березняках орляковых растет *Laserpitium latifolium*, площадь популяций которого колеблется от 24 до 2300 м^2, а среднее проективное покрытие составляет 10–15 %. Средняя плотность особей в сосняках мшистых – порядка 0,3 экз/м^2, орляковых – до 0,6–1,5 экз/м2.

Sparassis crispa обнаружен в сосняках мшистых в единичных экземплярах.

Среди растений списка профилактической охраны обычны *Campanula persicifolia* и *Anthericum ramosum*, реже встречаются *Platanthera bifolia* и *Primula veris*.

Следует заметить, что *P. veris* в березняках орляковых на холмах образует скопления до 100 особей и более при проективном покрытии порядка 50 %.

Колокольчик персиколистный наиболее обычен в светлых березняках, а венечник ветвистый предпочитает леса орлякового типа. Растет довольно мозаично, местами образуя небольшие скопления площадью 1 м^2 и более.

Несколько южнее располагается территория биологического заказника республиканского значения «Стиклево», где зарегистрированы 10 мест произрастания 4 видов редких растений: *Arnica montana*, *Pulsatilla patens*, *Prunella grandiflora* и *Gymnadenia conopsea*.

Арника горная распространена в сосняках орляковых с березой и елью, сосняках и березняках мшистых. Произрастает куртинами на площади от 0,5 до 1 тыс. м^2. Цветущие растения редки.

Прострел раскрытый немногочислен. Растет в сосняках орляковых мелкими локусами с плотностью растений 1 экз. на 0,3–15 м^2.

Единственное место произрастания кокушника длиннорогого отмечено на опушке сосняка орлякового с березой в выделе 2 квартала 18 Сосненского лесничества Минского лесопаркового хозяйства. Географические координаты места произрастания кокушника: 53°53'7.79"С; 27°44'31.07"В. Зарегистрирован 1 экз. этого вида в фазе цветения. Состояние удовлетворительное, жизненность – 3.

Здесь же отмечена и черноголовка крупноцветковая, представленная двумя локусами на общей площади 50 м^2.

На юго-восточной окраине Минска в лесных массивах между мкр. Большой Тростенец и мкр. Сосны встречаются 4 вида охраняемых растений: *Ajuga pyramidalis*, *Pulsatilla patens*, *Lathyrus linifolius*, *Pulmonaria angustifolia*, а также *Platanthera bifolia*. Наиболее широко они представлены в лесном массиве на землях к С-СЗ от ныне действующего полигона ТБО «Тростенецкий».

Более обычна здесь *Lathyrus linifolius*, отдельные популяции которой располагаются в сосновых и березовых лесах. Отмечены 6 популяций с общей численностью растений около 700 экз. Растет чина мелкими локусами площадью от 1 до 5–10 м^2, занимая в отдельных местах произрастания до 50–100 м^2. Наиболее распространена на участках сосняков с обилием осины.

Pulsatilla patens редок, численность незначительна (13 экз.). Единственное место произрастания расположено на холме вблизи лесной дороги в сосняке мшистом с березой, с разреженным древостоем и редким напочвенным травянистым покровом. Растет прострел отдельными экземплярами на общей площади около 160 м^2.

Так же крайне редка и *Ajuga pyramidalis* обнаруженная в сосняке орляковом в количестве 2 экз.

В ельнике мшистом (кв. 100, выд. 4 Сосненского лесничества Минского лесопаркового хозяйства) отмечено произрастание *Pulmonaria angustifolia*, представленной 3 экз. на общей площади 1 м^2.

Единично или небольшими группами в сосняках мшистых и березняке орляковом встречается *Platanthera bifolia*. Растет на светлых участках. У обочины лесных дорог в сосновых лесах образует скопления площадью 1,5–5 м^2, в которых насчитывается до 20 экз. любки.

Что касается непосредственно городской территории с ее ярко выраженной антропогенной нагрузкой, то следует отметить, что обустройство территории, строительные работы, постоянно возрастающая антропогенная нагрузка на отдельные лесные массивы города неблагоприятно отражаются на произрастании здесь редких видов растений.

В окрестностях водохранилища Дрозды (парк Дрозды), комплекс редких видов растений в настоящее время представлен чиной гладкой, лилией кудреватой и гладышем широколистным. Из растений профохраны здесь распространены наперстянка крупноцветковая, перелеска благородная, первоцвет весенний, дремлик морозниковый и волчеягодник обыкновенный. Единично встречается березовый гриб чага.

Численность всех этих растений здесь невелика, что обусловлено довольно сильной антропогенной нагрузкой на данную территорию.

Земляные и другие работы, выполненные в начале столетия в лесном массиве ниже дамбы водохранилища «Дрозды», негативно отразились на растительном покрове. После проведения реконструкции парка значительно сократилась численность перелески благородной, чины гладкой, волчеягодника. В частности, до этих мероприятий чина гладкая была распространена здесь широко, образуя местами вдоль лесной дороги большие заросли. В настоящее время вид отмечен в небольшом количестве (12 экз.) в ельнике и дубраве кисличных, липняке снытевом, а также на левом берегу р. Свислочь в пойменном ивняке (4 экз.).

Lilium martagon в настоящее время практически выпала с данной территории. Ее единственный экземпляр отмечен в ельнике кисличном. Сохранился он, произрастая непосредственно у комля дерева.

На этом же участке в ельнике кисличном, а также вблизи р. Свислочь в дубраве кисличной единично встречается и гладыш широколистный.

Существенное изменение экологических условий в лесном массиве на берегу водохранилища, произошедшее в результате реконструкции территории, негативно отразилось и на растениях из Списка профилактической охраны. До обустройства парка волчеягодник был распространен по всему массиву, произрастая как отдельными особями, так и небольшими группами. Однако при создании здесь зоны отдыха, рассчитанной на посещение значительным числом жителей города, это опасное ядовитое растение было практически полностью изъято с территории. В настоящее время вид представлен единично. Распространенная практически по всему массиву перелеска была представлена разными цветовыми формами: белой, голубой и синей, розовой и красной. Сильное вытаптывание светлых участков леса, активный сбор растения в период цветения крайне негативно отразились на распространении перелески. Розовая и красная формы сохранились лишь единично. Немногочисленна и наперстянка крупноцветковая. Несколько ее особей сохранились в ельнике кисличном с липой, а также на участке смешанного леса со стороны водохранилища.

Из видов профилактической охраны в настоящее время обилен лишь дремлик морозниковый, широко распространенный под пологом молодого ивняка. Его популяция насчитывает здесь свыше 250 экз. Однако выкашивание травостоя в летний период во время цветения дремлика может в дальнейшем привести к значительному выпадению данного вида.

В окрестностях Цнянского водохранилища лесной массив в границах улиц Олешева, Подольской и Стефании Станюты, а также сосняки урочища «Куропаты» являются местом концентрации чины льнолистной.

На первом участке чина льнолистная произрастает в сосняке орляковом с хорошо развитым разнотравьем на площади 48 м^2 с проективным покрытием 10 %. Цветущие растения составляют более 5% популяции.

Угрозу популяции представляют сильная рекреационная нагрузка, а также активное распространение в краевой части сосняка и по его опушке барвинка малого (*Vinca minor* L.) и золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.). Золотарник занимает всю опушку, а отдельными небольшими локусами уже встречается и в сосняке на осветленной территории под ЛЭП. Учитывая активное распространение золотарника в светлых лесах на территории Минска в последние годы, можно допустить, что в дальнейшем этот инвазивный вид достигнет участка произрастания чины и полностью ее вытеснит в силу своих биологических и экологических особенностей.

На территории урочища «Куропаты» в начале нынешнего столетия были зарегистрированы 3 локуса общей площадью 570 м^2. Чина льнолистная растет здесь в сосняках елово-разнотравном и чернично-мшистом. Мониторинговые исследования показывают положительную динамику численности ее популяции. Так, если в 2011 г. были обнаружены 47 особей, то уже в 2014 г. их количество возросло на 77 %. В 2020 г.

насчитывалось уже 172 экз. (из них 91 генеративный), собранных в 4 локуса (24, 15 и 160 и 20 м^2) на общей площади 1600 м^2.

Помимо чины льнолистной в сосняках этого урочища отмечены также *Hepatica nobilis*, *Campanula persicifolia* и *Digitalis grandiflora*. Произрастают они в незначительном количестве, что обусловлено рядом причин, в том числе вытаптыванием территории вследствие ее активного посещения жителями города и прилегающего района коттеджной застройки, а также прямым повреждением при сборе цветущих растений.

Несколько лучше сохранился комплекс растений редких видов в сосново-еловых лесах с примесью широколиственных пород в окрестностях ул. Фогеля и ул. Гуртьева. В настоящее время здесь еще довольно обычны лилия кудреватая и чина гладкая. Реже встречается гладыш широколистный.

В небольшой по площади дубраве орляково-снытевой, подвергающейся довольно сильной рекреационной нагрузке, чина гладкая растет группами по 10–20 и более экз., занимая участки площадью от 40 до 250 м^2. Среднее проективное покрытие чины на отдельных участках достигает 60 %.

Реже встречается чина гладкая на этой территории в сосново-еловом лесу с дубом, рябиной и лещиной.

Лилия кудреватая растет единично или мелкими группами (2–4 экз.) в сосново-еловых и дубово-еловых лесах, а также сосняках разнотравных (часто с обилием сныти) с липой и лещиной в подлеске. На отдельных участках в сосняках с липой и лещиной плотность произрастания лилии составляет 1экз. на 45–60 м^2.

Гладыш широколистный на данной территории предпочитает условия более открытые, поэтому непосредственно под пологом леса зарегистрирован лишь в количестве 5 особей в сосново-еловом лесу с липой в подлеске. Сопутствующими видами являются зеленчук желтый, живучка ползучая, копытень. В то же время довольно крупная популяция гладыша отмечена в сосняке орляковом в выделе 11 квартала 33 Городского лесничества Минского лесопаркового хозяйства, где на площади в 1 тыс. м^2 было отмечено 58 экз. этого вида. Наблюдаемое здесь активное цветение отдельных растений гладыша может указывать на благоприятные для него условия. Негативным фактором для гладыша на этом участке является систематическое выкашивание трав в краевой зоне вблизи пешеходной дорожки.

На отдельных участках в этих лесах в небольшом количестве растут колокольчик персиколистный, перелеска благородная, волчеягодник обыкновенный и гнездовка настоящая.

Старовозрастные сосновые и сосново-еловые леса в границах ул. Филимонова – Парниковая – Скорины в настоящее время благоприятны преимущественно для чины льнолистной и лилии кудреватой. Сосновые леса представлены здесь тремя типами – орляковым, мшистым и кисличным. При этом все сосняки орляковые на данной территории находятся на 2–3 стадиях дигрессии. В незначительном количестве представлены

также березняки орляковые и черничные, осинники орляковые и черноольшаники.

Исследования, проведенные здесь в полевой период 2019 г. показали, что наибольшая концентрация редких видов растений характерна для 11 квартала Городского лесничества ПКДУП «Минское лесопарковое хозяйство», 12 выдела 9 квартала Городского лесничества и землям, обслуживаемым УП «Зеленстрой Партизанского района г. Минска».

Чина льнолистная предпочитает здесь сосняки орляковые в 11 квартале Городского лесничества. На площади 3200 м2 насчитывается около 340 экз., собранных в 3 локуса разной величины. Состояние хорошее.

В сосняках орляковом и кисличном встречается лилия кудреватая. Отмечены 2 популяции общей численностью 13 экз. Число особей в обеих популяциях сходно. При этом в сосняке кисличном она растет двумя локусами на площади 280 м^2. В сосняке орляковом лилия произрастает более компактно, занимая лишь 48 м^2.

В сосняке орляковом (выдел 12 квартала 9 Городского лесничества) на площади 20 м^2 отмечены 19 экземпляров гладыша широколистного. Состояние популяции удовлетворительное. Растет гладыш непосредственно у пешеходной дорожки, что в некоторой степени может представлять угрозу для отдельных растений.

В восточной части города гладыш широколистный выявлен также в дигрессирующем сосняке мшистом с елью и обильным разнотравьем вблизи д. № 51-1 по ул. Ф. Скорины. Данное место произрастания вызывает значительную тревогу в отношении сохранности этого растения. Гладыш широколистный растет на участке 17х8 м с проективным покрытие около 25 %. Популяция насчитывает порядка 70 экз., из которых около 10 % цветущие. Более половины особей в популяции молодые. Участок сильно вытаптывается и замусоривается бытовым мусором, обильно зарастает крапивой, что в дальнейшем может негативно отразиться на существовании данной популяции. Существенную угрозу представляет также малина, активно внедряющаяся на этот участок.

Из растений Списка профилактической охраны на этой территории отмечены *Anthericum ramosum*, *Campanula persicifolia*, *Epipactis helleborine*, *Goodyera repens* и *Hepatica nobilis*. Они зарегистрированы в 13 местах произрастания, предпочитая сосняки орляковые. Несколько шире встречается лишь перелеска.

Лесной массив между МКАД и автодорогой Заславль – Колодищи в районе ул. Маневича занимает квартал 139 Боровлянского лесничества ГЛХУ «Боровлянский спецлесхоз». Здесь представлены леса разных типов, среди которых более распространены сосняки орляковые и кленовник кисличный. Реже встречаются березняки, ясенники, ивняки. Как и в выше рассмотренных лесных массивах восточной части г. Минска, на этой территории из редких видов растений отмечены чина льнолистная и лилия кудреватая.

Чина льнолистная довольно обильна на светлых участках сосняков. Растет как небольшими локусами на площади 2–16 м^2, так и представлена

на довольно значительной территории (240 м^2), где насчитывается около 3 тыс. особей этого вида. В крупной популяции плотность произрастания составляет порядка 10–15 экз. / м^2.

Лилия кудреватая менее обильна. Распространена широко, но встречается единично. Отмечены лишь 8 экз., из которых 6 – генеративные.

Несколько ближе к центру города располагается массив лесопарка «Уручье». Эта лесная территория претерпевает довольно мощную рекреационную нагрузку, что, в свою очередь, отражается на произрастании здесь многих видов растений. Из видов, подлежащих охране, на этой территории отмечен лишь один экземпляр лилии кудреватой. Растет она в деградирующем ельнике черничном. Растительный покров ельника полностью вытоптан более чем на половине территории, а часть его выжжена отдыхающими студентами. Лилия растет здесь у края тропы вблизи ели. Однако наблюдения за ее произрастанием в течение двух лет показали, что она здесь практически не повреждается и даже зацветает. В этом же лесу на светлых участках и полянах изредка встречается колокольчик персиколистный, растущий группами по 2-4 экземпляра.

Практически вытоптана здесь перелеска благородная, сохранившаяся в настоящее время лишь на одной из полян в ельнике с примесью сосны на площади менее 0,5 м^2.

В западной части города интерес с точки зрения сохранения территории произрастания растений редких видов представляет небольшое переходное болото вблизи МКАД по проспекту Дзержинского. Площадь – около 3 га.

Растительный покров в целом довольно богат. В древесном ярусе широко представлены березы повислая и пушистая, а также сосна обыкновенная. По краю произрастает ольха черная. По всей территории болота распространены кустарниковые ивы, отдельными пятнами растет голубика. В травянисто-кустарничковом ярусе отмечены 22 вида растений, а в моховом покрове широко представлены сфагновые мхи. Обильны осоки (*Carex vesicaria* L., *Carex lasiocarpa* Ehrh., *Carex rostrata* Stokes, *Eriophorum vaginatum* L. и *Eriophorum latifolium* Hoppe), произрастающие на всех обследованных участках болота. Проективное покрытие вахты трехлистной (*Menyanthes trifoliata* L.) и клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) достигает 10 %. Местами распространены сабельник болотный (*Comarum palustre* L.) и тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

На болоте в травянисто-кустарниковом ярусе зарегистрированы 5 редких видов растений, среди которых *Corallorhiza trifida* – Ладьян трехнадрезный и *Salix myrtilloides* – Ива черничная включены в основной список Красной книги Беларуси, а также *Epipactis palustris*, *Platanthera bifolia* и *Dactylorhiza maculata* – в Список профилактической охраны.

Salix myrtilloides в количестве около 100 особей произрастает на площади до 1 га. Corallorhiza trifida встречается гораздо реже. Отмечены 5 экземпляров на площади 8 м^2 (4 х 2 м). Состояние обоих видов растений удовлетворительное.

Дремлик болотный распространен здесь довольно широко, местами образует относительно большие группы. В целом его проективное покрытие превышает 20 %. Пальчатокоренник пятнистый и любка двулистная редки и представлены единичными экземплярами.

Мониторинговые наблюдения на данном болоте показывают, что в настоящее время происходит его зарастание березой, сосной, ивой. Проективное покрытие кустарников в центральной части болота в месте произрастания ивы черничной и ладьяна трехнадрезного уже превышает 45 %. По периметру болота зарастание древесно-кустарниковой растительностью значительно сильнее.

Изменение экологических условий на болоте, очевидно, в некоторой степени обусловлено снижением здесь уровня почвенно-грунтовых вод, что сказывается на скорости и характере сукцессии, вызывая обильное развитие древесно-кустарниковой растительности, а также отдельных видов травянистых растений. В свою очередь это должно неоднозначно отразиться на произрастании здесь растений редких видов. В частности, вероятно, в дальнейшем следует ожидать сокращения численности ивы черничной и ладьяна трехнадрезного, в противоположность чему увеличения количества особей любки и пальчатокоренника, предпочитающих менее увлажненные почвы. Однако, если сомкнутость древесно-кустарникового яруса значительно возрастет, это приведет к выпадению всех видов редких растений на данном болоте.

В защитной полосе у ж/д в направлении Минск-Брест на ЮЗ окраине г. Минска отмечено произрастание волдырника ягодного (*Cucubalus baccifer*). Древостой полосы сильно загущен и образован тополем и осиной. Под пологом древостоя в настоящее время активно разрастаются кустарники, среди которых доминирует пузыреплодник калинолистный, вытесняющий прочую растительность. Мониторинговые исследования показывают некоторое колебание численности волдырника по годам. В начальный период обнаружения волдырник был представлен 8 особями, из которых 7 – генеративных. Повторные наблюдения в 2014 г. показали сокращение популяции до 5 экземпляров, что произошло на фоне активного зарастания участка снытью, бутенем ароматным, крапивой, кленом ясенелистным и пузыреплодником калинолистным. В 2020 г. волдырник ягодный был представлен 4 генеративными и 15 вегетативными особями на общей площади 7 м^2. Состояние неудовлетворительное, угрожаемое.

На этом же участке отмечены два вида из Списка профилактической охраны Красной книги Беларуси: *Epipactis helleborine* и *Phallus impudicus*.

В городских парках редкие виды растений немногочисленны. На территории большинства парков в настоящее время они не наблюдаются, что вполне закономерно вследствие значительной здесь рекреационной нагрузки, изменения растительного покрова и почвенно-гидрологического режима.

В пойме р. Свислочь на территории Лошицкого парка произрастает колокольчик широколистный. Популяция занимает участок в липня-

ке снытевом на береговом склоне у р. Свислочь. Вид впервые выявлен в 2011 г., когда на площади 408 м^2 было зарегистрировано 355 цветущих экз. Повторные наблюдения в 2014 г. не показали изменения численности в части популяции, располагающейся под лесным пологом. Однако в северо-западной части популяции, расположенной на относительно открытом пространстве, наблюдалось сокращение численности вследствие зарастания участка лещиной и липой.

В 2020 г. отмечено уже более 2000 генеративных экземпляров по береговому склону на общей площади около 2000 м^2. При этом в северной части популяции, простирающейся на площади 700 м^2, плотность растений колокольчика широколистного составила 2 экз./м^2, а в южной (1300 м^2) – 0,5 экз./м^2. Значительное увеличение численности колокольчика широколистного в пойме р. Свислочь на территории Лошицкого парка может свидетельствовать о благоприятных здесь условиях для его произрастания.

В небольших лиственных насаждениях (преимущественно осинниках) на юго-западе Минска, на газонах в ряде дворов Фрунзенского района встречается *Epipactis helleborine*. В настоящее время, вероятно, одна из наиболее крупных популяций этого вида на территории города располагается в осиннике снытевом на холме вблизи церкви по ул. Шаранговича. Здесь зарегистрировано около 200 генеративных особей дремлика морозникового. Поскольку данный участок практически не посещаем жителями города в силу особенностей его расположения, в дальнейшем, очевидно, следует ожидать увеличения численности этого вида растений.

Крупная популяция дремлика морозникового располагалась и по осинникам в лесопарке «Медвежино» со стороны ул. Пономаренко. В период цветения здесь насчитывалось около 100 экз. дремлика, росших преимущественно вдоль лесных дорожек. Однако работами по частичной реконструкции отдельных его участков в 2021 г. значительная часть популяции была уничтожена.

Так же уничтожена и популяция этого вида орхидеи, располагавшаяся в осиннике на берегу водоема по ул. Семашко (д. 33), где в 2013 г. насчитывалось более 40 цветущих особей на площади около 50 м^2. Из-за обильного распространения здесь борщевика Сосновского осинник был вырублен, территория перепахана и засеяна злаковыми травами, что привело к уничтожению практически всей популяции этой орхидеи. Вероятно, ее нахождение в этом районе возможно в настоящее время на пустошных землях вдоль речки Лошица.

Заключение. Таким образом, исследования, проведенные на территории г. Минска в начале нынешнего столетия, позволили выявить здесь ряд центров концентрации растений редких видов. Наиболее разнообразно и обильно эти растения представлены на территориях, которые до недавнего времени были ограничены в посещении. Преимущественно это земли, принадлежавшие Министерству обороны. Богатый состав редких видов растений требует в настоящее время особого режима отношения к этим землям.

Что касается непосредственно городских лесов с довольно значительной рекреационной нагрузкой, то в настоящее время в первую очередь необходимо уделить внимание лесным массивам на востоке города, где численность отдельных видов растений еще достаточно высока.

Очевидно, следует также обратить первоочередное внимание на территорию парка «Дрозды», где возрастающая рекреационная нагрузка уже привела к значительному сокращению численности редких видов растений. Планируемая застройка земель севернее водохранилища «Дрозды» в ближайшие годы приведет к еще более сильной рекреационной нагрузке, что, в свою очередь, может вызвать полное выпадение здесь редких видов растений, которые уже малочисленны.

Среди растений редких видов, произрастающих на территории белорусской столицы, в настоящее время обильны арника горная и чина льнолистная. При этом практически все популяции арники сосредоточены в лесных массивах, присоединенных к городу в последние годы. Чина льнолистная распространена преимущественно в старовозрастных сосняках, подвергающихся рекреационной нагрузке вследствие отдыха здесь горожан. Систематическое вытаптывание чины в дальнейшем также может привести к ее выпадению из большинства мест произрастания.

Немногочисленна в лесных массивах Минска лилия кудреватая. Негативное влияние на нее оказывает как изменение условий произрастания, так и, вероятно, сбор цветущих растений жителями города.

Серьезное внимание следует обратить на переходное болото на западной окраине города, а также место произрастания волдырника ягодного вблизи железной дороги. Изменение экологического режима на болоте вследствие негативного влияния городской среды в дальнейшем приведет к потере редких видов растений, произрастающих на этой территории. Волдырник ягодный может быть вытеснен пузыреплодником калинолистным и крапивой, активно развивающимися на участке его произрастания.

Среди прочих растений редких видов наиболее благоприятны условия произрастания для колокольчика широколистного в Лошицком парке.

Наконец, необходимо обратить внимание на влияние различных видов хозяйственной деятельности на дремлик морозниковый, ряд популяций которого уже выпали, а ряд других подвергаются негативному влиянию при выкашивании трав, бессистемных рубках древостоя и кустарников в городских лесах и парках.

Литература

1. Бибиков, Ю. А. Редкие и исчезающие виды растений Минского р-на / Ю. А. Бибиков, М. А. Джус, И. С. Гирилович // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2.– 1995.– № 2.– С. 49–51.

2. Бибиков, Ю. А. О флоре Минского района/ Ю. А. Бибиков [и др.]// Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. – 2002. – № 1. – С. 48–52.

3. Джус, М. А. Охраняемые растения г. Минска и его окрестностей/ М. А. Джус [и др.] // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2.– 2005. – № 2. – С. 76–82.

4. Быкова, Н. К. Роль болот в сохранении биоразнообразия на урбанизированных территориях / Н. К. Быкова, Г. В. Ермоленкова, Т. Л. Лапко // Природные ресурсы. – 2006. –№ 3. – С. 103–112.

5. Гирилович, И. С. Памятник природы республиканского значения «Дубрава» / И. С. Гирилович, М. А. Джус, М. В. Кочергина // Вестн. Белорус. ун-та. Сер. 2. – 2007.– № 1.– С. 55–61.

6. Гирилович, И. С. Памятник природы республиканского значения «Дубрава»: путеводитель: для студентов биол. фак. / И. С. Гирилович, М. А. Джус. – Минск.: БГУ, 2009. – 93 с.

7. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений/гл. редкол.: И. М. Качановский (предс.), М. Е. Никифоров, В. И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П.Броукі, 2015. – 448 с.

8. Чумаков, Л. С. Экологическая характеристика распространения редких видов растений в лесах зеленой зоны г. Минска/ Л. С. Чумаков, Ю. С. Подрез // Ботаника (исследования): Сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2017. – Вып. 46. – С. 152-168.

Поступила в редакцию 13.10.2021 г.

Фитоценология

Phytocenology

УДК 574.36+539.163(546.36+546.42):630*228.8(630*176.321.5)

Д. К. ГАРБАРУК, А. В. УГЛЯНЕЦ, С. В. ШУМАК

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ВКЛАД КОМПОНЕНТОВ ЧЕРНООЛЬХОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗАПОВЕДНОЙ ЗОНЫ ПГРЭЗ В БИОМАССУ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ^{137}Cs И ^{90}Sr

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, г. Хойники Гомельской области, Беларусь, e-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Аннотация. Для черноольховых насаждений заповедной зоны Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), расположенного в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, выполнена оценка потенциальных запасов лесных горючих материалов по их типам и содержания в них ^{137}Cs и ^{90}Sr. Установлено, что в черноольшаниках накоплено $22{,}4\times10^6$ т органического вещества, соответствующего $112{,}1\times10^{12}$ ккал тепловой энергии, которое неравномерно распределено в лесных горючих материалах: надземные – 6,0 %, наземные – 2,2 % и подземные – 91,8 %. В них депонировано $102{,}0\times10^{12}$ Бк ^{137}Cs и $10{,}4\times10^{12}$ Бк ^{90}Sr.

Ключевые слова: заповедник, заповедная зона, черноольшаник, лесной горючий материал, активность, ^{137}Cs, ^{90}Sr.

D. K. GARBARUK, A. V. UHLIANETS, S. V. SHUMAK

POTENTIAL CONTRIBUTION OF BLACK ALDER PLANTATIONS COMPONENTS INTO FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS AND THE ^{137}Cs AND ^{90}Sr CONTENT ON THE PROTECTED AREA OF THE PSRER

Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoiniki, Gomel' region, Belarus, e-mail:dima.garbaruk.77@mail.ru

Annotation. An assessment of potential reserves of forest combustible materials by their types and the content of 137Cs and 90Sr in them was carried out for the black alder forests in the protected area of the Polesye State Radiation-Ecological Reserve (PSRER) located in the exclusion zone of the Chernobyl NPP. It was found that 22.4×10^6 tons of organic matter corresponding to 112.1×10^{12} kcal of thermal energy accumulated in black alder forests, which is unevenly distributed in forest combustible materials: aboveground – 6.0 %, ground – 2.2 % and underground – 91.8 %. In them deposited 102.0×10^{12} Bq ^{137}Cs and 10.4×10^{12} Bq ^{90}Sr.

Keywords: reserve, protected area, black alder stand, forest fuel material, activity, ^{137}Cs, ^{90}Sr.

Введение. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (далее заповедник) организован в границах белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (далее ЗО ЧАЭС), включающей наиболее пострадавшие от аварии территории Брагинского, Наровлянского

и Хойникского административных районов Гомельской области площадью 216,9 тыс. га. В заповеднике выделена функциональная зона экспериментально-хозяйственной деятельности, или буферная, площадью 67,9 тыс. га, предназначенная для сохранения и восстановления природных комплексов, где допускаются экспериментально-хозяйственные, лесоводственные и другие виды деятельности, и заповедная, или основная, зона – территория с максимально высоким уровнем радиационного загрязнения, площадью 149,0 га. В заповедной зоне запрещены все виды деятельности, кроме мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, по поддержанию противопожарной безопасности и санитарного состояния природных комплексов и объектов, по предупреждению и ликвидации пожаров, иных стихийных бедствий и их последствий, и некоторых иных видов деятельности.

Лесные экосистемы, обладая огромной емкостью поглощения радионуклидов, вобрали в себя значительную часть радиоактивных выпадений 1986 года [1]. В настоящее время основными дозообразующими радионуклидами в ЗО ЧАЭС являются ^{137}Cs и ^{90}Sr. Их распад и миграция ведут к постепенному естественному очищению природных экосистем. Учитывая, что леса выполняют многочисленные природные функции и имеют многоцелевое хозяйственное значение и, вместе с тем, являются мощнейшими аккумуляторами радионуклидов, оценка текущего уровня их загрязнения является важной как фундаментальной, так и прикладной задачей.

Одной из наиболее актуальных проблем в лесном комплексе Беларуси является охрана лесов от пожаров, борьба с ними и ликвидация их последствий. Лесные пожары на загрязненных радионуклидами территориях являются источником переноса их на сопредельные территории, дополнительным фактором радиационной опасности, представляющим угрозу здоровью людей [2]. Предупреждение возникновения и тушение лесных и торфяных пожаров в целях сохранения древесных ресурсов, биологического разнообразия, предотвращения выноса радионуклидов за пределы ЗО ЧАЭС является одной из важнейших задач, стоящих перед заповедником.

На территории заповедника за 1991–2012 гг. произошло 342 лесных пожара на площади 10440 га [3]. Лесной пожар в 2015 г. показал, что горению подвергаются и черноольховые насаждения. При верховом пожаре огнем был уничтожен 55-летний черноольшаник (ольс) папоротниковый на площади 2,3 га с запасом стволовой древесины 260 м^3/га. В связи с этим актуальными для заповедника являются оценка запаса лесных горючих материалов (далее ЛГМ) в черноольховых насаждениях и вопрос накопления в них техногенных радионуклидов.

В Беларуси для определения степени природной пожарной опасности лесов используется шкала И.С. Мелехова [4], модифицированная И.Э. Рихтером [5]. Черноольшаники всех типов леса отнесены к V (очень низкая) классу природной пожарной опасности. Однако условия их произрастания в границах заповедника претерпели существенные

изменения. Во-первых, в результате широкомасштабной гидротехнической мелиорации в 1950–1980-е гг. было осушено 39 % его современной территории и 94 % площади болот и заболоченных земель, а густота мелиоративно-речной сети достигла 1,1 км/км^2 при общей протяженности 2364 км [6]. Во-вторых, за последние три десятилетия в регионе произошли существенные климатические изменения – повышение температуры воздуха, рост дефицита атмосферной и почвенной влаги, снижение влагообеспеченности территории, увеличение частоты засушливых явлений и глубины засух [7–9]. Это привело к непродолжительному или к полному отсутствию весенних затоплений поверхности почвы в ольсах, к понижению уровней грунтовых вод в них, к уменьшению увлажнения почв и иссушению их верхних горизонтов. Вследствие этих изменений черноольховые насаждения, особенно на осушенных торфяниках, согласно [2] можно относить к III (средняя) классу природной пожарной опасности. Следовательно, для них также необходимо проведение мероприятий по предупреждению пожаров, включая оценку накопления ЛГМ.

Ольха черная – третья по занимаемой площади лесообразующая порода в заповеднике, покрывающая 14882 га (12,3 % от общей площади лесов) [10]. Большая часть ольсов (82,8 %) произрастает в его заповедной зоне (далее ЗЗ).

Цель работы – оценить потенциальный вклад компонентов черноольховых насаждений в ЛГМ для ЗЗ заповедника и определить современные запасы в них ^{137}Cs и ^{90}Sr.

Материалы (объекты) и методы исследования. Объект исследования – черноольховые насаждения на территориях с высокими уровнями загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr, локализованные в ЗЗ заповедника. Их площадь 12320,5 га. Произрастают они в довольно широком спектре эдафических условий. Представлены 8 типами леса, в том числе 3 суходольными и 5 болотными. Ольсы приурочены большей частью к болотам (64,4 %), преимущественно к низинного (61,8 %) типа (табл. 1).

Таблица 1. Условия произрастания черноольшаников заповедной зоны заповедника

Table 1. A condition for the growth of black alder stands in the protected area of the reserve

ТЛУ	$С_2$, $Д_2$	$Д_3$	$Д_4$	$С_4$	$С_5$	$В_5$	Итого
Приуроченность	суходол		низинное болото			переходное болото	
Тип леса	Ольс кисличный	Ольс снытевый	Ольс крапивный	Ольсы папоротниковый и таволговый	Ольсы осоковый и болотно-папоротниковый	Ольс ивняковый	
Площадь, га	577,3	2220,5	1585,2	5636,8	1979,0	321,7	12320,5
Доля в структуре формации, %	4,7	18,0	12,9	45,7	16,1	2,6	100,0

При выполнении исследования использован расчетно-аналитический метод, основанный на анализе данных литературных источников, лесоустроительных материалов 2012 г. [11], нормативно-справочных материалов, применяемых при инвентаризации и оценке земель лесного фонда и различных его ресурсов Беларуси [12–14] и Украинского Полесья [15], результатов собственных исследований [10, 16–20].

Обработку материалов исследований и расчеты производили с использованием стандартных пакетов прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение. Компонентами лесного биогеоценоза являются древостой, подлесок, подрост, живой напочвенный покров (далее ЖНП), внеярусная растительность, составляющие в совокупности лесное насаждение или лесной фитоценоз, а также лесная подстилка, опад, отпад, корни растений, обитающие микро- и макроорганизмы, почва, как составная часть леса, и материнская горная порода [21, 22]. Практически во всех компонентах леса, кроме последнего, аккумулируется органическое вещество, которое, по сути, и является ЛГМ.

В лесных фитоценозах выделены три основных типа ЛГМ: наземные, надземные и подземные [2]. Часть фитомассы, представленной живыми растительными организмами, составляет биомассу. До 95 % ее (по весу) приходится на древостой, 4–5 % и менее – на нижние ярусы лесного фитоценоза. В пределах древостоя 2/3 и более веса выпадает на стволовую древесину, до 1/4 – на древесные корни, около 1/10 – на ветви, 1/30–1/20 – на листья и хвою. Мортмасса представлена сухостоем, сухими частями растений, пнями, отпадом, опадом, лесной подстилкой, органическим веществом почвы. Биомасса леса включает также организмы животного и микробного происхождения общей долей менее 1 % [22]. Учитывая последнее, при оценке вклада различных компонентов насаждений в ЛГМ будет рассматриваться только фитомасса насаждений ольхи черной.

Определение фитомассы компонентов черноольховых насаждений.

Фитомасса древостоев. Для заповедника заслуживают внимания таблицы оценки компонентов надземной фитомассы древостоев ольхи черной в естественных насаждениях Западного Полесья Украины [15], потому что, во-первых, Белорусское и Украинское Полесье расположено на юге области оптимального произрастания ольхи черной [23], во-вторых, природно-климатические условия для этой породы в Полесском заповеднике Беларуси [6] и в Западном Полесье Украины [15] достаточно близки. Однако рассчитанные биологические запасы фитомассы некоторых компонентов черноольховых древостоев ЗЗ по белорусским нормативам оказались на 10,8–32,9 % (в среднем 28,1 %) выше, чем по украинским (табл. 2).

Запас надземной фитомассы черноольховых древостоев ЗЗ (табл. 3) был определен по работе [15], а корней – по [13].

Таблица 2. Запас отдельных компонентов надземной фитомассы древостоев черноольшаников заповедной зоны по белорусским [13] и украинским [15] нормативам, $м^3$

Table 2. The stock of individual components of the aboveground phytomass of black alder stands in the protected area according to Belarusian [13] and Ukrainian [15] standards, m^3

Тип леса/ ТЛУ	Стволовая древесина		Кора		Сучья и ветви		Итого		Отклонение, %
	[по 13]	[по 15]	[по 13]	[по 15]	[по 13]	[по 15]	[по 13]	[по 15]	
Олч. ивняковый/B_5	21695	18514	3050	3073	1390	1733	26135	23320	+10,8
Олч. кисличный/$Д_2$	122041	85981	15356	14617	10507	6105	147904	106703	+27,9
Олч. снытевый/$Д_3$	459466	334020	58133	59528	38703	22158	556302	415706	+25,3
Олч. крапивный/$Д_4$	306704	217305	39503	36988	23968	16182	370175	270475	+26,9
Олч. папоротниковый C_4	708981	487492	92523	84050	52178	36422	853682	607964	+28,8
Олч. таволговый/C_4	308008	209358	38689	35329	25123	16749	371820	261436	+29,7
Олч. осоковый/C_5	217180	138508	28988	22772	14724	13851	260892	175131	+32,9
Олч. болотно-папоротниковый/C_5	2966	2139	504	327	148	232	3618	2698	+25,4
Всего по формации	2147041	1493317	276746	256684	166741	113432	2590528	1863433	+28,1

Таблица 3. Общий запас фитомассы древостоев черноольшаников ЗЗ, т абсолютно сухого вещества

Table 3. The total supply of phytomass of black alder stands in the protected area, 10^3 kg absolute dry substance

Тип леса/ТЛУ	Фитомасса						
	надземная					подземная	общая
	древесина	кора	ветви	листья	итого	корни	
Олч. ивняковый/B_5	14959	2525	1415	901	19800	1740	21540
Олч. кисличный/$Д_2$	57730	9814	4099	1443	73086	9497	82583
Олч. снытевый/$Д_3$	223160	38859	14766	5440	282225	35724	317949
Олч. крапивный/$Д_4$	147424	25363	11144	4090	188021	24288	212309
Олч. папоротниковый C_4	332359	57635	24783	9798	424575	56030	480605
Олч. таволговый/C_4	142663	24226	11395	4755	183039	24118	207157
Олч. осоковый/C_5	112156	18693	11311	5560	147720	17473	165193
Олч. болотно-папоротниковый/C_5	2194	355	238	185	2972	268	3240
Итого т	1032645	177470	79151	32172	1321438	169138	1490576
%	69,3	11,9	5,3	2,2	88,7	11,3	100,0

Фитомасса подроста и подлеска. В высоковозрастных ольсах снытевых заповедника густота подроста колеблется в пределах 4,2–20,2 тыс. шт./га, в таволговом, папоротниковом и осоковом типах леса она уменьшается до 0,3–3,4 тыс. шт./га [16]. Густота подлеска в черноольшаниках снытевых составляет 10,5–22,1 тыс. шт./га, в папоротниковых – 2,1–3,7 тыс. шт./га, в таволговых – 5,8–8,5 тыс. шт./га, в осоковых – 3,3–20,0 тыс. шт./га [17]. Используя усредненные данные по количеству и высоте подроста и подлеска по данным приведенных выше работ с помощью аллометрических уравнений для фитомассы [24] рассчитали надземную и подземную массу подроста и надземную массу подлеска в черноольшаниках ЗЗ по ТЛУ (табл. 4).

Таблица 4. Биологический запас фитомассы подроста и подлеска черноольшаников зз, кг абсолютно сухого вещества

Table 4. Biological stock of phytomass of undergrowth and underwood of black alder stands in the protected area, kg absolute dry substance

ТЛУ	Площадь, га	Надземная фитомасса			Корни
		подрост	подлесок	всего	подрост
$Д_{2-4}$	4383,0	1205325	1534050	2739375	1165878
$С_4$ (Ольс папоротниковый)	3842,3	107584	756933	864517	88373
$С_4$ (Ольс таволговый)	1794,5	78958	829059	908017	69986
$В_5$, $С_5$	2300,7	85126	593581	678707	73622
Итого	12320,5	1476993	3713623	5190616	1397859

Подземную фитомассу подлеска, из-за отсутствия для нее аллометрических уравнений, определяли через весовые соотношения корней и адземной фитомассы, основываясь на следующих данных. В мелиорированном березовом насаждении удельный вес надземной части фитомассы подлесочного яруса составляет в среднем 48 %, подземной – 52 % [25]. В сосняке разнотравно-черничном на радиоактивно загрязненной территории Беларуси соотношение надземной и подземной фитомассы (в процентах) у крушины ломкой составляет – 53/47, у лещины обыкновенной – 72/28, у рябины обыкновенной – 61/39 [26]. Основываясь на том, что при ухудшении условий местопроизрастания растения реагируют увеличением массы подземных органов [27, 28], а также учитывая условия произрастания ольсов в заповеднике [10] и то, что крушина ломкая является доминантным видом в подлесочном ярусе [17], подземную фитомассу подлеска в них приняли равную надземной – 3713623 кг. В итоге суммарный запас фитомассы подроста и подлеска черноольшаников ЗЗ составил 10,3 тыс. т при почти равных надземной (5,2 тыс. т) и подземной (5,1 тыс. т) их частей.

Запас надземной фитомассы подроста на 1 га в заповеднике составляет 0,12 т, подлеска – 0,30 т. Для сравнения, в Национальном парке «Припятский», расположенном в 120 км запад-северо-западнее Полесского заповедника, согласно работы [29] в надземной части подроста

ольсов крапивного и осокового содержалось 0,56 и 0,64 т/га абсолютно сухого вещества, подлеска – 1,92 и 1,90 т/га соответственно.

Фитомасса ЖНП. В Припятском заповеднике запас надземной части ЖНП в ольсах крапивном и осоковом составлял 0,73 и 1,11 т/га [29]. Для спелых сосняков Среднего Урала И.Л. Трофимова [30] предлагает уравнение для определения зависимости надземной фитомассы ЖНП в абсолютно сухом состоянии от высоты над уровнем моря и проективного покрытия. Абсолютные отметки открытого рельефа заповедника колеблются в интервале 105–130 м над уровнем моря [6], а средняя величина проективного покрытия ЖНП в черноольшаниках составляет 80–90 %. На основании этих данных в соответствии с [30] ориентировочный запас надземной фитомассы ЖНП черноольшаников в абсолютно сухом состоянии составляет 1750 кг/га. Учитывая схожесть видового разнообразия растений травяно-мохового покрова черноольшаника снытевого с сосняками и ельниками кисличными [31], надземную фитомассу данного типа леса можно также оценить в 2640 кг/га. Годичный прирост надземной части травяного покрова лиственных 22-летних насаждений ольхи серой и березы повислой в Англии составляет 21 и 22 ц/га соответственно [32]. Если учесть, что 93–98 % его массы превращается в опад [33], то биомасса опада ЖНП будет составлять около 19,5 и 21,6 ц/га. Для расчета надземной фитомассы черноольшаников ЗЗ приняли среднюю из приведенных выше величин равную 1,72 т/га. Отсюда наземная фитомасса ЖНП в ольсах ЗЗ составляет 21190 т.

Вес корней трав и корневищ в осиново-снытевых и березово-мертвопокровных парцеллах волосистоосокового дубо-ельника в объеме почвы 100×100×50 см составлял 89,5 г и 77,7 г абсолютно сухого веса соответственно [34]. Запас подземной части ЖНП в ольсах крапивном и осоковом Припятского заповедника был выше – 0,95 и 2,68 т/га, или 95 и 268 г/м^2 [29]. Для расчета массы подземной части ЖНП черноольшаников использовали среднюю величину из приведенных выше значений массы корней равную 132 г/м^2. Общий ее запас для ольсов ЗЗ составил 16260 т.

Внеярусная растительность (совокупность растений различных видов и классов – лиан, лишайников, размещающихся в разных ярусах древостоя [21]) ввиду незначительных массы и вклада в общую фитомассу была исключена из расчетов ЛГМ.

Мортмасса отпада. Согласно таблицам хода роста насаждений ольхи черной [12] величина древесного отпада во всех типах леса этой породы составляет 8 м^3/га, а общий его запас в ЗЗ – 98564 м^3. Перевод объема отпада в вес выполнен с использованием работы [15]. В итоге биологическая масса отпада в черноольшаниках ЗЗ составила 46820 т.

Мортмасса лесного опада. В лесах умеренного пояса его величина находится в диапазоне от 0,5 до 7–8 т/га в год при средних значениях 2–4 т/га в год [22]. Количество наземного опада в лесах возрастает от умеренно холодного климата (в среднем от 3,5 т/га) до умеренно теплого (5,5 т/га) [33]. В березняках Русской равнины листовой опад весит до 24–45 ц/га [35]. С учетом того, что в ольсах листья составляют 40 % опада [36], общее его

количество этой формации может достигать 60–110 ц/га. Масса опада в лесах Украинского Полесья колеблется от 310 до 560 г/м^2/год [36]. Для расчета биологической массы лесного опада черноольховых насаждений ЗЗ приняли среднюю величину равную 4,5 т/га. В переводе на всю площадь она составила 55440 т.

Мортмасса лесной подстилки. Сведения о запасах лесных подстилок существенно различаются. Согласно приведенным в источнике [37] данным, мортмасса лесной подстилки для зоны широколиственных лесов равна 1500 г/м^2. В листопадном лесу достаточно теплого умеренного климата ее масса достигает до 1–2 кг/м^2, в северном еловом лесу Канады или Финляндии – до 3–7 кг/м^2 [38], в заболоченных лесах северной и средней тайги – до 100 т/га [22]. В березняках лесостепи она составляет 16,3–19,1 т/га, в бореальных и суббореальных экосистемах подзоны южной тайги – 17–49 т/га [39]. Под пологом леса вес сухой массы подстилки находится в пределах 200–400 ц/га (до 1000 ц/га) [40]. В западных районах бывшего СССР количество подстилки под березняками равно 100–140 ц/га [41]. В черноольшаниках Калужской области России, расположенной на широте Витебской области Беларуси, то есть на 1,5–3° севернее заповедника, запас органического вещества в составе лесных подстилок изменяется в диапазоне 2–4 кг/м^2, составляя в среднем 3,1 кг/м^2 [36], или 31 т/га. Эта величина принята для расчетов. Расчетная масса лесной подстилки в ольсах ЗЗ равна 381930 т.

Запасы органического вещества в почве. Эдафический ареал ольхи черной в заповеднике включает 7 ТЛУ. В свежих судубравных и дубравных эдафотопах ($С_2$, $Д_2$) под ней находится 4,7 % площади формации, во влажных дубравных ($Д_3$) – 18,0 %. На низинных и переходных болотах произрастает 77,3 % ольсов (таблица 1). Почвенные разновидности в этих насаждениях низинные и переходные торфяные маломощные (мощность торфа 0,5–1,0 м), среднемощные, реже мощные (мощность торфа более 1,0 м) [42].

Усредненные данные толщины слоя торфа по типам леса черноольшаников Беларуси по данным работы [23] приведены на рисунке. Рассчитанные на их основе запасы органического вещества в ольсах ЗЗ, при принятой согласно источника [43] объемной плотности абсолютно сухого торфа 0,3 г/см^3, составили 20402700 т, в том числе в ольсе ивняковом – 897540 т, крапивном – 2282690 т, папоротниковом – 7146680 т, таволговом – 4145300 т, осоковом – 3105860 т и болотно-папоротниковом – 142760 т, в кисличном – 883270 т, снытевом – 1798600 т.

Суммарная фитомасса всех основных компонентов черноольховых насаждений ЗЗ заповедника составила $22{,}4\times10^6$ т. Почти 91,0 % ее приходится на торфяной слой почв, 6,8 % на живую часть биогеоценоза, 2,2 % на отпад, опад и лесную подстилку (таблица 5).

Удельный вес мортмассы наземных ЛГМ в общей биомассе черноольшаников ЗЗ составляет 2,2 %, в фитомассе надземных ЛГМ – 6,0 %, подземных – 91,8 %. В подземных ЛГМ доминирует торфяной слой (99,1 %) при крайне малой доле корней (0,9 %). В живой части биогеоценозов соотношение надземной биомассы к подземной в процентах составляет 87,6/12,4, или 7 к 1.

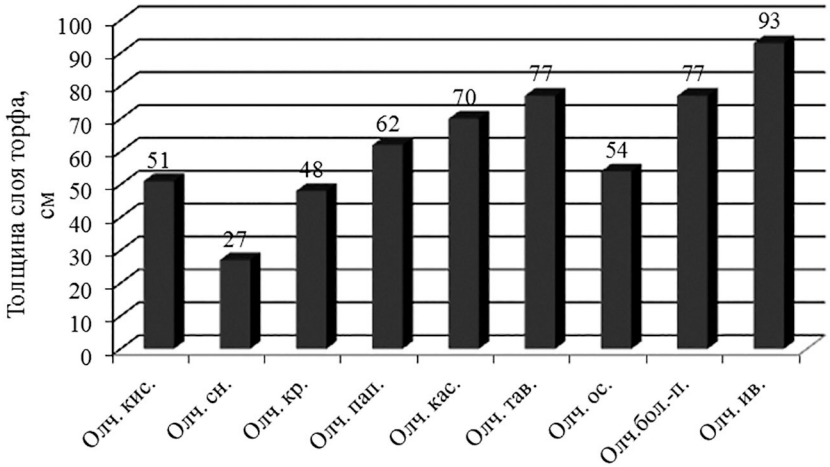


Рисунок. Средняя толщина слоя торфа в черноольшаниках Беларуси (по [23]), см.
Figure. Average depth of peat layer in the black alder stands of the Belarus (by [23]), 10^{-2} m.

Доминирующая часть надземных ЛГМ содержится в древостоях (98,0 %), незначительная (2,0 %) – в нижних ярусах насаждений. Близкие соотношения фитомассы древесного (97,89–98,23 %) и нижних (1,77–2,11 %) ярусов растительности ольсов крапивного и осокового приводятся для Припятского заповедника [29].

В черноольшаниках ЗЗ на стволовую древесину приходится 69,3 % общей фитомассы древостоев ольхи черной, на кору – 11,9 %, на корни – 11,3 %, на ветви – 5,3 %, на листья – 2,2 %. Близкие данные структуры фитомассы древостоев черноольшаников на загрязненных чернобыльскими выбросами территориях Калужской области России и Киевской области Украины приводятся в источнике [36], что говорит о корректности произведенных нами расчетов.

В составе наземных ЛГМ преобладает лесная подстилка (78,9 %). На отпад и опад приходится 9,7 % и 11,4 % мортмассы соответственно.

По источнику [37] 1 г сухого органического вещества соответствует 5 ккал для растений, животных и гумуса. Расчет показал, что в черноольшаниках ЗЗ аккумулировано около $112{,}1\times10^{12}$ ккал энергии (табл. 5). В противовес официальной версии теплового взрыва на Чернобыльской АЭС шведские исследователи выдвигают идею ядерного мощностью 75 т тринитротолуола [44], соответствующей 78×10^{6} ккал. Отсюда потенциальные запасы тепловой энергии, накопленной в органическом веществе ольсов ЗЗ, более чем в миллион раз превышает высвободившуюся при взрыве на ЧАЭС энергию.

Таблица 5. Вклад компонентов черноольховых насаждений ЗЗ в ЛГМ

Table 5. Contribution of components of black alder plantations of the protected area to forest fuel materials

Компонент насаждения		Тип лесного горючего материала						Итого		
		надземный		наземный		подземный				
		т	10^9 ккал	т	10^9 ккал	т	10^9 ккал	т	10^9 ккал	%
Древостой	древесина	1032640	5163,2	–	–	–	–	1032640	5163,2	4,61
	кора	177470	887,4	–	–	–	–	177470	887,4	0,79
	ветви	79150	395,8	–	–	–	–	79150	395,8	0,35
	листья	32170	160,9	–	–	–	–	32170	160,9	0,14
	корни	–	–	–	–	169140	845,7	169140	845,7	0,75
	всего	1321430	6607,3			169140	845,7	1490570	7453,0	6,64
Подрост	надземная часть	1470	7,4	–	–	–	–	1470	7,4	0,01
	корни	–	–	–	–	1400	7,0	1400	7,0	0,01
Подлесок	надземная часть	3710	18,6	–	–	–	–	3710	18,6	0,02
	корни	–	–	–	–	3710	18,6	3710	18,6	0,02
ЖНП	надземная часть	21190	106,0	–	–	–	–	21190	106,0	0,09
	корни	–	–	–	–	16260	81,3	16260	81,3	0,07
Итого живой части биогеоценоза		1347800	6739,3	–	–	190510	952,6	1538310	7691,9	6,86
Отпад		–	–	46820	234,1	–	–	46820	234,1	0,21
Опад		–	–	55440	277,2	–	–	55440	277,2	0,25
Лесная подстилка		–	–	381930	1909,7	–	–	381930	1909,7	1,70
Торф		–	–	–	–	20402700	102013,5	20402700	102013,5	90,98
Всего		1347800	6739,3	484190	2421,0	20593210	102966,1	22425200	112126,4	100,0
Доля, %		6,0		2,2		91,8		100,0		–

Определение запасов ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах черноольшаников.

В фитомассе черноольшаников, локализованных в ЗЗ заповедника, накоплены огромные количества радионуклидов. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах фитоценозов рассчитывали на основе таблицы 5 с использованием наших данных по удельной активности (далее A_y) радионуклидов в них, приведенные по работах [18–20]. В отпаде Ау принимали равную A_y в древесине ольхи, в опаде – среднюю величину между A_y в листьях ольхи черной (в ольсах на листья приходится 40 % опада [36]) и A_y в надземной части ЖНП (более 93 % его идет в опад [33]).

Для расчета запасов радионуклидов в лесной подстилке, используя полученные в 2020 г. экспериментальные данные, определяли средние A_y ^{137}Cs и A_y ^{90}Sr для ТЛУ $Д_3$, $Д_4$, $С_4$ и $С_5$, затем – средневзвешенные их величины для всей формации. Площади ольсов, произрастающих в эдафотопе $Д_2$, присоединили к эдафотопу $Д_3$, произрастающих в эдафотопе $В_5$, – к эдафотопу $С_5$.

По усредненным данным в верхнем 20-сантиметровом слое торфа черноольховых насаждений Беларуси сосредоточено 94,1 % запаса ^{137}Cs, в том числе в слое 15–20 см – 3,0 %, в лесной подстилке – 5,9 % [45]. В 2020 г. в ольсах в ТЛУ Д3, Д4, С4 и С5 ольхи черной в ЗЗ для определения плотности загрязнения почв были отобраны образцы почвы с лесной подстилкой (средняя ее мощность 3 см) на глубину 20 см, в которых определены A_y ^{137}Cs и ^{90}Sr. При этом за счет подстилки нижние 3-сантиметровые (17–20 см) слои торфа в образцы не вошли. Условно приняли, что запасы ^{137}Cs в них (около 3 % [45]) компенсируются запасом радионуклида в вошедшем в образец слое лесной подстилки (5,9 %) [45] и для определения запаса радионуклида в 0–20-сантиметровых слоях торфа применили A_y ^{137}Cs в почве с подстилкой. Расчетная средневзвешенная величину A_y ^{137}Cs в 20-см слое торфа для всей формации составила 10535 Бк/кг. Аналитически установили массу торфа в 20 см почвенного профиля черноольшаников (7035400 т) и суммарную активность в нем ^{137}Cs ($74117{,}9\times10^9$ Бк). Так как в торфяных почвах глубже 20 см содержится 12–17 % ^{137}Cs [45], то полученный запас увеличили в среднем на 14,5 %. Таким образом, суммарная активность данного радионуклида в торфе составила $84965{,}0\times10^9$ Бк.

Учитывая, что активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в верхнем 20-см слое профиля лесных почв имеют сходное распределение, а большая подвижность ^{90}Sr в почвах гидроморфного ряда компенсируется ее снижением по мере приближения к реактору [36], определение запасов ^{90}Sr в черноольшаниках ЗЗ производили по той же схеме, что и для ^{137}Cs.

Таблица 6. Запас ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах черноольховых насаждений 33

Table 6. Stock of ^{137}Cs and ^{90}Sr in components of black alder plantations in the protected area

Компонент насаждения		Биомасса, т	A_y, Бк/кг		Запас ^{137}Cs		Запас ^{90}Sr	
			^{137}Cs	^{90}Sr	10^9 Бк	%	10^9 Бк	%
Древостой	древесина	1032640	2191	283	2262,5	2,22	292,2	2,82
	Кора	177470	3042	2232	540,0	0,53	396,1	3,83
	Ветви	79150	3772	864	298,6	0,29	68,4	0,66
	Листья	32170	8545	1178	274,9	0,27	37,9	0,37
	итого надземная часть	1321430	–	–	3376,0	3,31	794,6	7,68
	подземная часть (корни)	169140	9815	797	1660,1	1,63	134,8	1,30
	Итого древостой	1490570	–	–	5036,1	4,94	929,4	8,98
Подрост (надземная часть)		1470	9124	2090	13,5	0,01	3,1	0,03
Подрост (подземная часть)		1400	8265	1174	11,6	0,01	1,6	0,01
Подлесок (надземная часть)		3710	6930	1449	25,7	0,03	5,4	0,05
Подлесок (подземная часть)		3710	9295	1033	34,5	0,03	3,8	0,04
ЖНП (надземная часть)		21190	33159	1467	702,6	0,69	31,1	0,30
ЖНП (подземная часть)		16260	20621	1245	335,3	0,33	20,2	0,20
Отпад		46820	2191	283	102,6	0,10	13,2	0,13
Опад		55440	20852	1322	1156,0	1,13	73,3	0,71
Лесная подстилка		381930	25058*	3354*	9570,4	9,39	1281,0	12,37
Торфяной слой		7035400	10535*	992*	84965,0	83,34	7991,1	77,18
Всего		9057900	–	–	101953,3	100,0	10353,2	100,0

**Примечание*: данные 2020 г.

Ориентировочная суммарная активность ^{137}Cs в ЛГМ черноольшаников ЗЗ составила 102,0×10^9 Бк, 90Sr – 10,4×10^9 Бк (табл. 6). Это составляет 0,12 % и 0,1 % от общей активности этих радионуклидов, выброшенных в ходе аварии на ЧАЭС (85 ПБк ^{137}Cs и 10 ПБк ^{90}Sr – [46]) соответственно.

В подземных ЛГМ сосредоточено 85,4 % запаса ^{137}Cs и 78,7 % ^{90}Sr от общего. Основная доля активности обоих радионуклидов приходится на торфяной слой – 83,3 и 77,2 % соответственно. Остальной их запас распределен между корнями древостоя, подроста, подлеска и ЖНП.

В наземных ЛГМ (отпад, опад, лесная подстилка) находится 10,6 % запаса ^{137}Cs и 13,2 % ^{90}Sr, в надземных (ЖНП, подрост, подлесок, древостой) – 4,0 % и 8,1 % соответственно.

Суммарная доля запаса ^{137}Cs в ЛГМ, связанных с низовыми пожарами (подрост, подлесок, ЖНП, отпад, опад, лесная подстилка), составляет 11,4 % от общего их содержания в ольсах, ^{90}Sr – 13,6 %; в ЛГМ связанных с верховыми пожарами (надземная часть древостоя) – 3,3 и 7,7 % соответственно.

Из содержащегося в растительности, отпаде, опаде и лесной подстилке ^{137}Cs (14946,8×10^9 Бк) при горении лесов в окружающую среду может мигрировать до 40–50 % его запаса [47, 48], то есть около 6726×10^9 Бк. Так как расчетный вынос ^{137}Cs в атмосферу составляет 21 % [49], то при устойчивом низовом пожаре в черноольшаниках ЗЗ с дымом может быть выброшено до 114,6×10^6 Бк этого радионуклида с 1 га, или до 11,5 кБк с 1 м^2 насаждения. Очевидно, что в плане пожарной и радиационной безопасности в заповеднике должны проводиться профилактические предупредительные противопожарные мероприятия и мероприятия по ограничению распространения лесных пожаров в черноольшаниках.

Заключение. Черноольховые насаждения, в виду специфичности своего местопроизрастания, относятся к V (очень низкая) классу природной пожарной опасности и практически не рассматриваются как объекты горения. В условиях роста дефицита атмосферной и почвенной влаги вероятность возникновения лесных пожаров в черноольшаниках ЗЗ заповедника значительно возросла. Повышение природной пожарной опасности в отдельных насаждениях ольхи черной, вызванное, прежде всего, изменением гидрологической обстановки, требует проведения профилактических предупредительных противопожарных мероприятий и мероприятий по ограничению распространения лесных пожаров. Учитывая радиационный фактор, а также накопление в данных насаждениях значительного количества ЛГМ в связи с отсутствием хозяйственной деятельности в них, необходима оценка потенциального депонирования в них радионуклидов.

В настоящей работе предпринята попытка оценить потенциальные запасы органического вещества (ЛГМ) по основным компонентам черноольховых биогеоценозов в ЗЗ заповедника. Определен общий запас биомассы (потенциальный запас ЛГМ) в них в количестве 22,4×10^6 т, в том числе по типам ЛГМ: в надземных – 1,3×10^6 т (6,0 %), в наземных – 0,5×10^6 т (2,2 %), в подземных – 20,6×10^6 т (91,8 %). Основной ее запас (17,7×10^6 т или 90,8 %) приходится на органическое вещество почвы.

По этой причине насаждения ольхи черной среди основных лесообразующих пород заповедника характеризуются очень высокими потенциальными запасами сухой массы ЛГМ (182 кг/м^2).

Всего в живой и мертвой фитомассе черноольшаников ЗЗ депонировано $112{,}1\times10^{12}$ ккал потенциальной тепловой энергии. Запас ЛГМ для горения при верховых пожарах составляет 98,0 % от надземного и 5,9 % от общего. Доля наземной фитомассы нижних ярусов насаждений (потенциальные запасы ЛГМ для горения при низовых пожарах) равна 2,3 % от общей. Максимальное количество подземной фитомассы, или потенциальные запасы ЛГМ для горения при подземных (торфяных) пожарах, составляют 91,8 %.

Ориентировочные запасы ^{137}Cs в биомассе черноольшаников ЗЗ по состоянию на 2020 г. составляли $102{,}0\times10^{12}$ Бк и ^{90}Sr – $10{,}4\times10^{12}$ Бк, что соответственно в 834 и 966 раз меньше их количества, выброшенного из реактора при взрыве на Чернобыльской АЭС.

В надземных ЛГМ черноольховых насаждений ЗЗ сосредоточено 4,0 % 137Cs и 8,1 % ^{90}Sr от общего их запаса в данных биогеоценозах, в наземных – 10,6 % и 13,2 %, в подземных – 85,4 % и – 78,7 % соответственно, в том числе в торфяном слое – 83,3 % ^{137}Cs и 77,2 % ^{90}Sr.

Наибольшую потенциальную опасность в ольсах ЗЗ представляют торфяные пожары, которые, учитывая значительные запасы радионуклидов в подземных ЛГМ, могут иметь серьезные экологические, экономические и социальные последствия.

Следует отметить, что в Беларуси отсутствуют нормативы для оценки запасов фитомассы таких компонентов насаждений ольхи черной как опад, лесная подстилка, ЖНП, подрост, подлесок. Недостаточно таких данных и в научной литературе. Поэтому для получения более достоверных прогнозных оценок по накоплению ЛГМ в черноольховых фитоценозах и депонированию в них радионуклидов необходимо выполнение специальных научных исследований.

Литература

1. Ипатьев, В. А. Лес и человек в условиях глобального радиоактивного загрязнения / В. А. Ипатьев. – Гомель : ИЛ НАН Беларуси, 2002. – 38 с.

2. Усеня, В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними / В. В. Усеня. – Гомель : Институт леса, 2002. – 206 с.

3. Кудин, М. В. Горимость лесов белорусского и украинского секторов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / М. В. Кудин // Сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса. – Гомель, 2014. – Вып. 74 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 539–551.

4. Мелехов, И. С. Природа леса и лесные пожары / И. С. Мелехов. – Архангельск : ОГиЗ, 1947. – 57 с.

5. Рыхтэр, І. Э. Лясная піралогія з асновамі радыеэкалогіі / І. Э. Рыхтэр. – Мінск : БДТУ, 1996. – 300 с.

6. Биологическое разнообразие Полесского радиационно-экологического заповедника: сосудистые растения / Д. В. Дубовик [и др.] ; под ред. В. И. Парфенова. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 234 с.

7. Изменение климата и водных ресурсов на территории Полесья / В. И. Мельник [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г.: в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 399–403.

8. Марченко, Ю. Д. Погодно-климатические условия в ближней зоне Чернобыльской АЭС / Ю. Д. Марченко // Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития : сб. науч. тр. / Полесский государственный радиационно-экологический заповедник ; под общ. ред. Ю. И. Бондаря. – Минск, 2013. – С. 32–45.

9. Бровка, Ю. А. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата / Ю. А. Бровка, И. В. Буяков // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 5–18.

10. Гарбарук, Д. К. Структура черноольховых лесов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / Д. К. Гарбарук, А. В. Углянец // Сб. науч. ст. / Управление делами Президента Респ. Беларусь, Березинский биосферный заповедник. – Минск, 2017. – Вып. 12 : Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. – С. 32–49.

11. Проект организации и ведения лесного хозяйства Учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник» Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь на 2013–2022 гг. – Т. 1. – Гомель, 2012. – 259 с.

12. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР / под ред. В. Ф. Багинского – М. : ЦБНТИлесхоз, 1984. – 310 с.

13. Комплексная продуктивность земель лесного фонда / В. Ф. Багинский [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Багинского. – Гомель : Институт леса, 2007. – 295 с.

14. Таксационно-лесоустроительный справочник / М. В. Кузьменков [и др.]. – Минск : РУП «Редакция журнала «Лесное и охотничье хозяйство», 2019. − 335 с.

15. Лакида, П. І. Фітомаса вільшняків Західного Полісся України / П. І. Лакида, І. В. Блищик. – Корсунь-Шевченківський : ФОП Майдаченко І. С., 2010. – 237 с.

16. Кудин, М. В. Предварительное естественное возобновление леса в высоковозрастных черноольшаниках зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / М. В. Кудин, А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2 (198). – С. 64–72.

17. Углянец, А. В. Распространение подлеска в высоковозрастных черноольшаниках Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук, М. В.Кудин // Сб. науч. ст. / Управление делами Президента Респ. Беларусь, Березинский биосферный заповедник. – Минск, 2017. – Вып. 12 : Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. – С. 165–174.

18. Углянец, А. В. Накопление 137Cs и 90Sr компонентами древостоя в черноольшаниках зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук, С. В. Шумак // Сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Ин-т леса. – Гомель, 2020. – Вып. 80 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 246–256.

19. Гарбарук, Д. К. Накопление 137Cs и 90Sr компонентами фоновых видов подроста и подлеска в черноольшаниках зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / Д. К. Гарбарук, А. В. Углянец // Известия Гомельского гос. у-та им. Ф. Скорины. Естественные науки. – 2020. – № 3 (120). – С. 29–35.

20. Углянец, А. В. Загрязнение 137Cs и 90Sr доминантных видов живого напочвенного покрова в черноольшаниках зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук // Известия Гомельского гос. у-та им. Ф. Скорины. Естественные науки. – 2020. – № 6 (123). – С. 85–91.

21. Лесоводство с основами ботаники и дендрологии : учеб. пособие / М. С. Лазарева [и др.]. – Минск : РИПО, 2016. – 226 с.

22. Мелехов, И. С. Лесоведение. – 4-е изд. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 372 с.

23. Юркевич, И. Д. Типы и ассоциации черноольховых лесов (По исследованиям в БССР) / И. Д. Юркевич, В. С. Гельтман, Н. Ф. Ловчий. – Мн. : Наука и техника, 1968. – 376 с.

24. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в Европейской части России / А. И. Уткин [и др.] // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36–46.

25. Булко, Н. И. Особенности накопления ^{137}Cs ярусами березового насаждения в условиях различной обводненности гидроморфных почв / Н. И. Булко // Сб. науч. тр. / НАН Беларус, Ин-т леса. – Гомель, 2006. – Вып. 66 : Проблемы лесоведения и лесоводства. – С. 73–82.

26. Изучить закономерности аккумуляции радионуклидов видами дикорастущей флоры, разработать дифференцированные подходы по исследованию ресурсов, дать прогноз сукцессионных изменений в растительном покрове : отчет по выполнению темы Госпрограммы преодоления последствий катастрофы на ЧАЭС / АНБ, ИЭБ ; рук. В. И. Парфенов, Б. И. Якушев. – Минск, 1995. – 209 с.

27. Тихменев, Е. А. Оценка ресурсов фитомассы кустарников и кустарничков в горных ландшафтах юга Магаданской области / Е. А. Тихменев, А. А. Пугачёв, Г. В. Станченко // Вестник Северо-Восточного государственного университета, 2017. – № 27. – С. 59–64.

28. Базилевич, Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М. : Наука, 1993. – 293 с.

29. Экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника / А. В. Бойко [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1976. – 304 с.

30. Трофимова, И. Л. Надземная фитомасса и ее годичная продукция в спелых сосняках Среднего Урала : автореф. дис. … канд. сельскохоз.. наук : 06.03.02 / И. Л. Трофимова ; УГЛТУ. – Екатеринбург, 2015. – 24 с.

31. Блинцов, И. К. Химический состав и накопление фитомассы травяно-мохового покрова в сосняках и ельниках Белоруссии / И. К. Блинцов, П. Ф. Асютин // Сб. науч. тр. / Отд. биол. наук АН БССР, Бел. респ. бот. общ-во. – Минск, 1983. – Вып. XXV : Ботаника (исследования). – С. 41–49.

32. Родин, Л. Е. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л. Е. Родин, Н. И. Базилевич. – Москва–Ленинград : Наука, 1965. – 251 с.

33. Гриднев, А. Н. Основы лесной биогеоценологии : учебное пособие для студентов по направлению подготовки – 35.04.01 Лесное дело / А. Н. Гриднев, Н. В. Гриднева. – Уссурийск : ПГСХА, 2016. – 213 с.

34. Дылис, Н. В. Парцеллярная структура лесных биогеоценозов и ее лесоводственное значение / Н. В. Дылис // Сб. науч. тр. / Бел. отд. Всесоюз. бот. общва. – Минск, 1968. – Вып. X : Ботаника (исследования). – С. 40–54.

35. Смирнова, К. М. Потребление и круговорот элементов питания в березовом лесу / К. М. Смирнова, Г. А. Городенцева. – Бюлл. МОИП, 1958. – Отд. биол. – Т. LXШ. – Вып. 2. – С. 135–145.

36. Щеглов, А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А. И. Щеглов. – М. : Наука, 2000. – 268 с.

37. Соловьев, В. А. Популяция и биоценоз : учебное пособие / В. А. Соловьев. – Л. : ЛТА, 1985. – 92 с.

38. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М. : Издательство «Прогресс», 1980. – 328 с.

39. Шибарева, С. В. Запасы и элементный состав подстилок в лесных и травяных экосистемах Сибири : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.00.27 / С. В. Шибарева ; Сиб. отд. Рос. акад. наук, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск, 2004. – 23 с.

40. Ковда, В. А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса / В. А. Ковда. – М. : Наука, 1973. – Кн. 1. – 448 с.

41. Василевская, Л. С. Изменение количества и состава лесной подстилки по типам леса / Л. С. Василевская // Лесное хозяйство : сб. науч. работ БелНИИЛХ. – 1958. – Вып. 12. – С. 106–113.

42. Почвы Полесского государственного радиационно-экологического заповедника = Soil of Polesye state radiation-ecological reserve / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 97 с.

43. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты / Л. Б. Хорошавин [и др.]. – М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – 256 с.

44. De Geer, Lars-Erik A Nuclear Jet at Chernobyl Around 21:23:45 UTC on April 25, 1986 / Lars-Erik De Geer, Christer Persson, Henning Rodhe // Nuclear Technology. – 2018. – Vol. 201 (iss. 1). – P. 11–22.

45. 35 лет после Чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий : национальный доклад Республики Беларусь / Департамент по ликвидации последствий катастрофы Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. – Минск : ИВЦ Минфина, 2020. – 152 с.

46. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт / Доклад экспертной группы «Экология» Чернобыльского форума. – Вена : МАГАТЭ, 2008. – 180 с.

47. Щербов, Б. Л. Экогеохимическая роль лесных пожаров в Байкальском регионе / Б. Л. Щербов, В. Д. Страховенко, Ф. В. Сухоруков // География и природные ресурсы. – 2002. – № 2. – С. 60–65.

48. Пожары в 30-км зоне ЧАЭС как фактор радиационной опасности / И. С. Бакин [и др.] // Чернобыль-94 : сб. тез. – Зеленый Мыс, 1994. – С. 98.

49. Перераспределение радионуклидов чернобыльских выпадений в почвах при лесных пожарах на территории зоны отчуждения в Республике Беларусь / В. И. Садчиков [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2018. – № 2 (58). – С. 1–12.

Поступила в редакцию 26.07.2021 г.

УДК 614.4:577.472(075.83)

Н. Д. ГРИЩЕНКОВА

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ Р. СВИСЛОЧЬ – Р. БЕРЕЗИНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: nhrysh@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты комплексного обследования в 2020 году семи ключевых участков мониторинга водной растительности в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь на реках Свислочь (КУ Анусино, КУ Королищевичи, КУ Вязье) и Березина (КУ Бобруйск, КУ Светлогорск), а также на двух водохранилищах на р. Свислочь - Заславское и Комсомольское озеро. Изучен видовой состав, количественное развитие и состояние водной растительности, выявлены их изменения по сравнению с данными предыдущих лет обследования. Проанализированы особенности содержания микроэлементов (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb) в высшей водной растительности и донных отложениях. Определены их концентрации и превышения фонового содержания, выделены перечень приоритетных элементов и виды-индикаторы с высокой накопительной способностью солей тяжелых металлов. Выявлен ряд проблемных вопросов, связанных с антропогенным загрязнением и эвтрофированием водной среды.

Ключевые слова: высшие водные растения, макрофиты, водная среда, донные отложения, тяжелые металлы, река Свислочь, река Березина, мониторинг

N. D. HRYSHCHANKAVA

ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ECOSYSTEM R. SVISLOCH – R. BEREZINA BASED ON MONITORING OF AQUATIC VEGETATION

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

Annotation. Results of comprehensive study in 2020 of seven key sites of water vegetation monitoring within the National system of monitoring of the environment of Republic of Belarus in the rivers Svisloch (Anusino, Korolishchevichi, Vyazye) and Berezina (Babruysk, Svetlogorsk) and also in two reservoirs on the river Svisloch (Zaslavskoye and Komsomolskoye) are given. The species composition, quantitative development and state of aquatic vegetation were studied, their changes were revealed compared to the data of previous years of the study. The features of heavy metals (Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb) contents in higher aquatic plants and sediments have been analyzed. Its concentration and exceeding background content have been determined, the priority elements and species-indicators with high accumulative ability of heavy metals' salts have been outlined. A number of problematic issues related to anthropogenic pollution and eutrophication of the aquatic environment have been identified.

Keywords: higher aquatic plants, macrophytes, aquatic environment, sediments, heavy metals, river Svisloch, river Berezina, monitoring

Введение. Высшие водные растения (макрофиты) являются неотъемлемым компонентом водных экосистем, формируют биологическое раз-

нообразие, являются биологическими ресурсами, индикатором экологического состояния водных объектов.

Сложившаяся система контроля загрязнения водоемов базируется как правило на анализе исключительно водной среды. Однако водная среда характеризуется динамичностью и неустойчивостью концентрации и состава химических элементов во времени, что значительно снижает информативность получаемых данных. В настоящее время для оценки состояния водных объектов большее внимание придается анализу депонирующих сред: высшей водной растительности и донным осадкам. Способность высших водных растений и осадков накапливать вещества в концентрациях, превышающих значения, зафиксированные в окружающей среде, обусловила их использование в системе мониторинга и контроля состояния окружающей среды [1–3].

Кроме того, различные признаки и свойства отдельных растений или растительных сообществ и их комплексов могут применяться при индикации состояния водных объектов для получения качественной, а иногда и количественной характеристики среды [4,5].

В городах и зонах их влияния поверхностные водные объекты испытывают наиболее интенсивную техногенную нагрузку, поскольку здесь сосредоточены основные источники воздействия: промышленные предприятия, системы водоснабжения и водоотведения, различные транспортные коммуникации, накопители коммунальных и промышленных отходов и пр. Одним из существенных источников загрязнения водотоков и водоемов в пределах городов является сток дождевых и талых снеговых вод. Степень загрязнения поверхностного стока с застроенной территории близка, а по некоторым показателям значительно превышает загрязненность хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Источником поступления тяжелых металлов в водные объекты являются локальные сбросы, плоскостной сток с городских территорий и пылегазовые выбросы промышленных предприятий, тепловых электростанций и автотранспорта.

Материалы (объекты) и методы исследования. Пунктами наблюдений мониторинга водной растительности являются ключевые участки (КУ). КУ представляют собой репрезентативные, однородные или разнородные по составу растительности, участки акватории произвольных размеров и формы, закрепленные на планово-картографической основе, с расположенными на них объектами мониторинга водной растительности, в отношении которых по специальной программе [6] на регулярной основе проводится комплекс мониторинговых наблюдений.

Представленная в статье оценка состояния водной экосистемы р. Свислочь – р. Березина выполнена на основании комплексного обследования в 2020 году семи КУ мониторинга водной растительности в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь на реках Свислочь (КУ Анусино, КУ Королищевичи, КУ Вязье) и Березина (КУ Бобруйск, КУ Светлогорск), а также на двух водохранилищах на р. Свислочь – Заславское и Комсомольское озеро.

Анализировали видовой состав, количественное развитие и состояние водной растительности, а также среды ее произрастания (содержание химических элементов в воде, тканях водных растений и донных отложениях). Изучение растительности проводили на профилях, заложенных перпендикулярно берегу от уреза воды к центру водного объекта до границы распространения растительности. Исследования проводили по общепринятым методикам [6,7]. Сроки проведения наблюдений и отбор проб на КУ соответствовал максимальному развитию биомассы и накопления химических веществ растениями и приходился на период цветения (июль – август).

Всего выполнены аналитические работы в 19 образцах растений, 7 образцах донных отложений, 7 пробах воды, отобранных на КУ.

Отбор проб и анализы физико-химических свойств воды проводили по общепринятым методикам [8–10]. В водной массе определяли pH, прозрачность, цветность, содержание основных ионов минерального состава и биогенных веществ.

Пробы донных отложений отбирались из ненарушенного верхнего неконсолидированного слоя осадков (пелогена), мощность которого приближается к годичному слою осадков (не более 1–2 см) по общепринятым методикам [11–13]. Отбор образцов водных растений (без корней) проводился по общепринятым методикам [6,7]. Исследование валового содержания элементов в образцах донных отложений и водных растений проводилось методом эмиссионного спектрального анализа на приборе PGS-2 по методике [14]. В качестве приоритетных загрязняющих элементов определены: Ni, Cu, Pb, Zn, Ti, Cr, V, Mn, большинство из которых относится к тяжелым металлам, обладающим специфичными биогеохимическими свойствами: высокой биохимической активностью, токсичностью, канцерогенностью, тенденцией к биоконцентрированию, склонностью к гидролизу [15]. Нижний предел обнаружения составляет (мг/кг на золу): Ti – 1; V – 10; Cr – 5; Mn – 10; Ni – 8; Cu – 1; Zn – 100; Pb – 5. Содержание элементов пересчитывалось на абсолютно сухое вещество (АСВ).

Для интегральной оценки степени загрязнения водных объектов рассчитан индекс содержания тяжелых металлов в растениях (I_{pm}), который представляет собой суммарное отношение величины коэффициентов концентрации (накопления) элементов (K_c) к числу элементов, и рассчитывается по формуле [16]:

$$I_{pm} = \frac{K_1 / K_{1f} + K_2 / K_{2f} + ... + K_i / K_{if}}{n}, \qquad (1)$$

где $K_{1, 2,..i}$ – содержание элемента (Ni, Cu, Pb, Zn, Ti, Cr, V, Mn); $K_{1f, 2f,..if}$ – фоновая величина для соответствующего элемента; n – число показателей, используемых для расчета.

Величина индекса близкая к 1 соответствует фоновому содержанию элементов. Величина индекса менее 0,1 характеризует очень чистые водные объекты, от 0,1 до 1,0 – чистые, от 1,01 до 2,0 – слабо загрязненные, от 2,01 до 3,0 – умеренно загрязненные, выше 3,0 – сильно загрязненные.

Результаты и их обсуждение

Характеристика водной растительности

Водохранилище Заславское расположено в Минском районе, в 10 км к северо-западу от г. Минска и является головным водоёмом каскада водохранилищ на р. Свислочь. Водохранилище образовано в 1956 году в результате создания подпора на р. Свислочь и затопления пойм рек Свислочи, Ратомки, Черневки и Вячи. Образовался водоём долинного, сложного, озеровидного типа [17].

Основная часть водохранилища свободна от водной растительности. Зарастанию надводной растительностью препятствует постоянное ее выкашивание у санаториев, домов отдыха и других рекреационных учреждений. Наиболее интенсивно надводные макрофиты развиваются в заливе реки Ратомка, где образуют прибрежную полосу шириной от 3 до 15 м. Макрофиты с плавающими листьями представлены очень слабо. Встречаются в заливе рек Ратомка и Свислочь отдельными экземплярами и небольшими группами. Полоса погруженных растений имеет прерывистый характер. Наибольшее распространение они получили в северной и северо-восточной частях водохранилища. В них доминируют рдесты гребенчатый, пронзённолистный и курчавый, роголистник погруженный.

КУ расположен на северо-западе водохранилища. Характер зарастания определяют растительные сообщества надводных и погруженных растений. Надводные растения занимают глубины от уреза воды до 0,8 м, образуя сплошную полосу плотных зарослей шириной до 20 м, состоящую из тростника обыкновенного и камыша озерного. Ценозы погруженной растительности распространены на глубинах до 1,0 м. На глубинах от 0,4 м отмечаются разреженные заросли рдеста гребенчатого и роголистника погруженного. На глубинах от 0,6 до 1,0 м – плотные смешанные заросли данных видов с преобладанием рдеста гребенчатого. В характере и структуре зарастания КУ за период наблюдения (предыдущие съёмки проводились в 2001 и 2009 годах) не произошло существенных изменений.

Водохранилище Комсомольское (Комсомольское озеро) – русловое, расположено на реке Свислочь (на отрезке между ул. Орловской и пер. Канатным), построено в 1941 году для водного благоустройства г. Минска, предназначено для рекреации [17].

Узкая прибрежная зона мелководья и периодическое выкашивание препятствуют зарастанию водохранилища надводной растительностью. Вдоль берегов надводные растения отсутствуют или образуют очень узкие (до 1–3 м шириной) полосы или отдельные островки. Основные заросли надводной растительности сконцентрированы вокруг островов, образуя полосы шириной до 10 м. Глубина распространения 0,2–0,8 м. Фрагменты зарослей растений с плавающими листьями в водохранилище встречаются очень редко и существенной роли в формировании продукции не играют. Подводная растительность занимает очень малую площадь и распространена неравномерно. Периодические чистки ложа

препятствуют формированию устойчивых фитоценозов гидрофитной растительности, несмотря на высокие потенциальные возможности зарастания водоема.

КУ расположен в восточной части водохранилища. Надводные растения занимают глубины от уреза воды до 0,3 м, образуя разреженные заросли, состоящие из манника большого и канареечника тростниковидного на берегу, и отдельные куртины рогоза узколистного в воде. У уреза воды встречаются также околоводные растения: щавель прибрежный, мята водная, осоки, аир обыкновенный. Сообщества погруженной растительности распространены на глубинах 0,3–0,5 м. На КУ отмечаются лишь разреженные заросли урути мутовчатой.

В характере и структуре зарастания КУ за период наблюдения (предыдущие съемки проводились в 2006 и 2009 годах) произошли некоторые изменения. В формировании пояса надводных растений доминирует манник большой, биомасса которого возросла более чем в два раза. Заросли рогоза стали более разреженные, биомасса соответственно ниже. Биомасса урути мутовчатой также снизилась по сравнению с 2009 г. более чем в два раза.

КУ Анусино р. Свислочь расположен в Минском районе, в 20 км на северо-запад от г. Минск, на восток от д. Анусино, у автомобильного моста через р. Свислочь, в 20 м ниже по течению. Русло реки канализировано, ширина 20 м, глубина 1,8 м. Дно ровное, песчано-каменистое, частично зарастает водной растительностью (периодически расчищается).

Характер и степень зарастания КУ высшей водной растительностью определяется эксплуатационным режимом Вилейско-Минской водной системы. Сравнительный анализ результатов полевых работ на КУ в 2020 г. с материалами, полученными в ходе выполнения полевого обследования в 2015 г., показывает, что характер и степень зарастания реки изменились, уменьшились площади распространения высшей водной растительности. Изменения в степени зарастания КУ связаны с периодической расчисткой русла канала и выкашиванием надводной растительности.

Во время полевого обследования 2020 г. на КУ выявлено 8 видов макрофитов. Большинство из них отмечаются единичными экземплярами. По сравнению с 2015 г. не отмечены рдест гребенчатый, шелковник жестколистный, ежеголовник прямостоячий, канареечник тростниковидный. Растения с плавающими листьями ранее на КУ отсутствовали. В настоящее время в нижнем ярусе зарослей сусака зонтичного, а также по их краю произрастает водокрас обыкновенный. Обильно развиваются нитчатые водоросли, плотно обволакивающие заросли погруженных растений (рис. 1).

За период наблюдений (предыдущие съемки проводились в 2001, 2008 и 2015 годах) сменились растительные сообщества на КУ. По площади распространения и биомассе стали преобладать гелофиты и растения с плавающими листьями. Среди надводных доминирует сусак зонтичный, а не канареечник тростниковидный, тростник обыкновенный и осоки, как это было ранее. В целом наблюдается снижение биомассы макрофитов за счет изменения структуры зарастания и выпадения отдельных видов растений.



а *б*

Рис. 1. Скопления нитчатых водорослей на КУ:
а – КУ Светлогорск (р. Березина), *б* – КУ Анусино (р. Свислочь)

Fig. 1. Accumulations of filamentous algae in key sites:
a – key site Svetlogorsk (r. Berezina), *b* – key site Anusino (r. Svisloch)

КУ Королищевичи р. Свислочь расположен на юго-восточной окраине д. Королищевичи Минского района, в 0,2 км ниже автомобильного моста по дороге Королищевичи-Стайки. Русло реки извилистое, сильно зарастающее. Скорость течения 0,2–0,4 м/с, ширина русла около 40 м, глубина реки в створе – 1,8 м. Дно песчаное, у берегов сильно заиленное.

Надводная растительность представлена отдельными куртинами камышовика тростниковидного и тростника обыкновенного, часто нарушаемых выкашиванием. Среди растений с плавающими листьями отмечены лишь единичные экземпляры кубышки желтой. Погруженная растительность развивается по всему руслу реки, имеет островной характер распространения. Свободными от растительности остаются стержневые части русла с максимальными скоростями течения. На глубинах 0,3–1,0 м встречаются плотные фрагментарные заросли роголистника погруженного, большие скопления рдеста гребенчатого – по всему руслу реки участками.

Сравнительный анализ результатов полевых работ на КУ в 2020 г. с материалами, полученными в ходе выполнения полевого обследования в 2015 г., показывает, что характер и степень зарастания реки изменились, увеличились площади распространения высшей водной растительности. При этом снизилась плотность зарослей: отмечается снижение биомассы рдеста гребенчатого в 3,5 раза по сравнению с 2015 г.

КУ Вязье р. Свислочь расположен в Осиповичском районе Могилевской области, в 4 км на север от г. Осиповичи, на юг от д. Вязье, на нижнем бъефе Осиповичского водохранилища (в 0,3 км от плотины ГЭС). Русло глубоко врезанное, свободно меандрирующее, извилистое. Ширина реки 70–100 м. Глубина в среднем составляет 1,5 м, скорости течения 0,1–0,2 м/с. Дно ровное, песчано-илистое. Гидрологические условия речного потока связаны с работой Осиповичской ГЭС.

Зарастаемость русла реки невысокая. Макрофиты занимают участок литорали с глубинами не более 0,5 м. У уреза воды растут камыш озерный, рогоз узколистный, аир болотный, манник большой, частуха подорожниковая, осоки, ситник скученный. Среди надводных растений доминирует рогоз широколистный, образующий прерывистую полосу высокопродуктивных зарослей шириной до 4 м. Растения с плавающими листьями представлены плавающей формой стрелолиста и ряской малой (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Массовое развитие ряски малой на КУ:
а – КУ Светлогорск (р. Березина), *б* – КУ Вязье (р. Свислочь)

Fig. 2. Mass development of common duckweed in key sites:
a – key site Svetlogorsk (r. Berezina), *b* – key site Vyazye (r. Svisloch)

Отличительной особенностью является то, что ярус погруженных растений предшествует либо совпадает с ярусом растений с плавающими листьями. Из погруженных наибольшее распространение получили роголистник погруженный и элодея канадская; редко встречаются рдесты блестящий и курчавый. Заросли погруженных растений малопродуктивные, носят фрагментарный характер. На КУ обильно развиваются нитчатые водоросли, плотно обволакивающие заросли погруженных растений.

В характере и структуре зарастания КУ за период наблюдения (предыдущие съемки проводились в 2008 и 2015 гг.) произошли изменения. Отмечается существенное увеличение биомассы надводных макрофитов и снижение биомассы и площади зарастания погруженных макрофитов, максимальная глубина зарастания снизилась с 0,7 до 0,4 м. Отмечается более обильное развитие ряски малой и появление массовых скоплений нитчатых водорослей. Всё это свидетельствует о негативных изменениях в водной экосистеме, связанных как с опусканием уровня воды в реке в связи с работой ГЭС, так и с поступлением загрязненного стока, влияющего на физико-химические характеристики водной массы.

КУ Бобруйск р. Березина расположен на юго-восточной окраине города, в 1,6 км ниже впадения р. Бобруйки. Русло свободно меандрирующее,

извилистое, преобладающая ширина 80–130 м. Глубины 2–2,5 м. Скорости течения 0,5–0,8 м/с. Дно ровное, песчаное.

Русло чистое, зарастает только у берегов. Из надводных растений отдельными куртинами у уреза воды отмечены осоки и манник большой, а также единичные экземпляры сусака зонтичного. Глубже (до глубины 0,5 м) фрагментарно произрастает сусак зонтичный и стрелолист стрелолистный.

Растения с плавающими листьями представлены плотными зарослями кубышки желтой на глубинах 0,2–0,8 м.

Также у берега пятнами встречается ряска малая. Ярус подводных растений совпадает с ярусом растений с плавающими листьями, отличается небольшой шириной (5 м), высоким обилием, проективным покрытием и жизненностью видов, в него входящих. Доминируют роголистник погруженный и элодея канадская. Единично встречаются рдесты пронзеннолистный и гребенчатый. Максимальная глубина распространения погруженных макрофитов – 1,6 м.

В характере и структуре зарастания КУ за период наблюдения (предыдущее обследование проводилось в 2008 г.) произошли изменения. Отмечается существенное увеличение биомассы всех групп макрофитов, а также их обилия, проективного покрытия и жизненности. Кубышка желтая, которая ранее встречалась только в заливах, в настоящее время образует полосу зарастания вдоль всего берега. Следует отметить также появление и массовое развитие ряски малой, что свидетельствует о локальном поступлении биогенных веществ с водосбора.

КУ Светлогорск р. Березина расположен на северо-западной окраине города, в 1,9 км ниже впадения р. Жердянки, в 0,2 км ниже железнодорожного моста. Русло свободно меандрирующее, извилистое, преобладающая ширина 80–130 м. Глубины 2–2,5 м. Скорости течения 0,5–0,8 м/с. Русло чистое, зарастает только у берегов. Дно ровное, песчаное.

Сплошной полосой шириной до 7 м вдоль берега отмечены заросли манника большого с вкраплениями сусака зонтичного. В нижнем ярусе высоких надводных растений наблюдается сплошной ковер ряски малой, на глубине 1,0–1,1 м отмечаются разреженные заросли плавающей формы стрелолиста стрелолистного. Ярус погруженных растений занимает часть дна с глубинами 0,3–1,1 м и состоит из доминирующих рдеста пронзеннолистного и элодеи канадской, отличающихся высоким обилием, проективным покрытием и жизненностью. На КУ обильно развиваются нитчатые водоросли, плотно обволакивающие заросли погруженных растений (рис. 1).

В характере и структуре зарастания КУ за период наблюдения (предыдущее обследование проводилось в 2008 г.) произошли изменения. Отмечается существенное увеличение биомассы надводных макрофитов, а также их обилия, проективного покрытия и жизненности. Ряска малая, которая ранее встречалась небольшими пятнами у берега, в настоящее время образует сплошную полосу до края надводных (рис. 2). Следует отметить также появление нитчатых водорослей. Максимальная глубина зарастания

снизилась с 1,8 до 1,1 м. Всё это свидетельствует о негативных изменениях в водной экосистеме, связанных с поступлением загрязненного стока, влияющего на физико-химические характеристики водной массы.

Характеристика среды произрастания водной растительности

Исследуемые водные объекты характеризуются малой и очень малой прозрачностью (0,4–1,0 м). Водородный показатель слабощелочной, от 7,3 на КУ Вязье р. Свислочь до 8,8 в вдхр. Комсомольское. Цветность изменяется от малой (вдхр. Заславское) до высокой (КУ Вязье р. Свислочь, р. Березина). Концентрация биогенных элементов во всех водных объектах (кроме КУ Анусино р. Свислочь) превышает нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК). На КУ Королищевичи р. Свислочь отмечается резкий запах гниения, наблюдаются пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ). Во всех исследуемых водных объектах (кроме КУ Анусино р. Свислочь, расположенного выше г. Минска) трансформация коснулась практически всех гидрохимических показателей, а состояние отдельных объектов можно оценить как катастрофическое (р. Свислочь на КУ Королищевичи).

Расположение исследуемых водных объектов в зонах влияния крупных городов (Минск, Бобруйск, Светлогорск) обусловило также определенные техногенные изменения, связанные с повышенным накоплением тяжелых металлов в тканях водных растений и донных отложениях. Анализ накопления тяжелых металлов различными видами растений показал, что высшим водным растениям свойственна избирательность в накоплении солей тяжелых металлов [18–21]. Их концентрация в разных видах макрофитов зависит от химических и гидрофизических свойств водной среды, состава донных отложений, наличия источников загрязнения. Проведенные исследования свидетельствуют, что наилучшими индикаторами являются погруженные растения (табл. 1). Концентрация никеля (Ni) в макрофитах обследованных водных объектов колеблется от следовых количеств до 0,94 мг/кг АСВ (роголистник погруженный, КУ Анусино), что не превышает среднее фоновое значение для рек Беларуси [20]. Среднее фоновое содержание меди (Cu) в макрофитах рек составляет 2,19 мг/кг АСВ. Максимальные концентрации меди (до 112,5 мг/кг) зафиксированы в погруженных растениях на КУ Королищевичи и КУ Вязье. Превышения фоновых значений по содержанию меди в водных растениях отмечены для всех исследованных водных объектов. Максимальное содержание свинца (Pb) отмечается также в подводных растениях: рдест гребенчатый, КУ Королищевичи (22,5 мг/кг); роголистник погруженный, там же (10,99 мг/кг), КУ Анусино (15,6 мг/кг), КУ Вязье (6,55 мг/кг), при средней фоновой величине для Беларуси 0,51 мг/кг АСВ.

Среднее фоновое содержание цинка (Zn) в макрофитах рек Беларуси – 8,71 мг/кг АСВ, а максимальное содержание зафиксировано в роголистнике погруженном и рдесте гребенчатом на КУ Королищевичи р. Свислочь (314,0 и 225,0 мг/кг соответственно), что в 25–36 раз выше фонового значения.

Таблица 1. Пределы колебания и средние значения концентрации элементов в макрофитах и донных отложениях на КУ р. Березина и р. Свислочь

Table 1. Variation limits and average values of elements concentration in macrophytes and bottom sediments on key sites of r. Berezina and r. Svisloch

Ценозы макрофитов Macrophyte cenoses	Содержание элементов (мг/кг АСВ) Elements concentration (mg/kg ADS)							
	Ni	V	Mn	Ti	Cr	Pb	Cu	Zn
погруженные submerged	0,00- 0,94 0,47	1,26- 4,68 2,97	235,50- 1000,00 617,75	22,10- 312,00 167,05	0,00- 4,68 2,34	1,00- 22,50 11,75	2,21- 112,50 57,36	11,05- 314,00 162,53
с плавающими листьями floating	0,00- 0,07 0,04	0,55- 0,69 0,62	327,00- 411,00 369,00	32,70- 68,50 50,60	0,55- 0,69 0,62	0,05- 2,74 1,40	1,09- 2,74 1,92	5,45- 6,85 6,15
надводные emerged	0,00- 0,12 0,06	1,88- 3,68 2,78	133,70- 490,00 311,85	13,16- 73,50 43,33	0,00- 1,23 0,62	0,09- 1,63 0,86	1,17- 7,35 4,26	9,40- 12,25 10,83
Средняя величина для рек Беларуси [20] Average value for rivers in Belarus [20]	1,03	2,96	154,00	5,66	5,28	0,51	2,19	8,71
Донные отложения Bottom sediments	1,93- 8,41 5,17	8,31- 28,32 18,32	472,00- 1682,00 1077,00	831,00- 2832,00 1831,50	4,82- 84,10 44,46	27,48- 126,15 76,82	26,04- 126,15 76,10	91,60- 2523,0 1307,3
Средняя величина для рек Беларуси [22] Average value for rivers in Belarus [22]	9,76	22,00	713,00	1515,00	29,50	16,90	10,80	29,70

Примечание: подчеркнутым шрифтом обозначены пределы колебания концентрации элементов. Note: underlined type indicates variation limits of elements concentration.

Концентрация ванадия (V) колеблется в фитомассе от следовых количеств до 4,68 мг/кг (роголистник погруженный, КУ Анусино), при среднем фоновом содержании 2,96 мг/кг АСВ. Среднее фоновое содержание марганца (Mn) в макрофитах рек Беларуси зафиксировано на уровне 154,0 мг/кг АСВ. Максимальное содержание этого элемента имеют погруженные виды растений (роголистник погруженный, рдест пронзеннолистный) на КУ Бобруйск и КУ Светлогорск р. Березина: 1000,0 и 714,0 мг/кг АСВ соответственно (рис. 3).

Значение индекса содержания тяжелых металлов в растениях (табл. 2) варьирует в пределах от 0,86 (рогоз узколистный, КУ Вязье р. Свислочь) до 20,64 (рдест гребенчатый, КУ Королищевичи р. Свислочь). Большинство водных объектов на КУ относится к умеренно и сильно загрязненным.

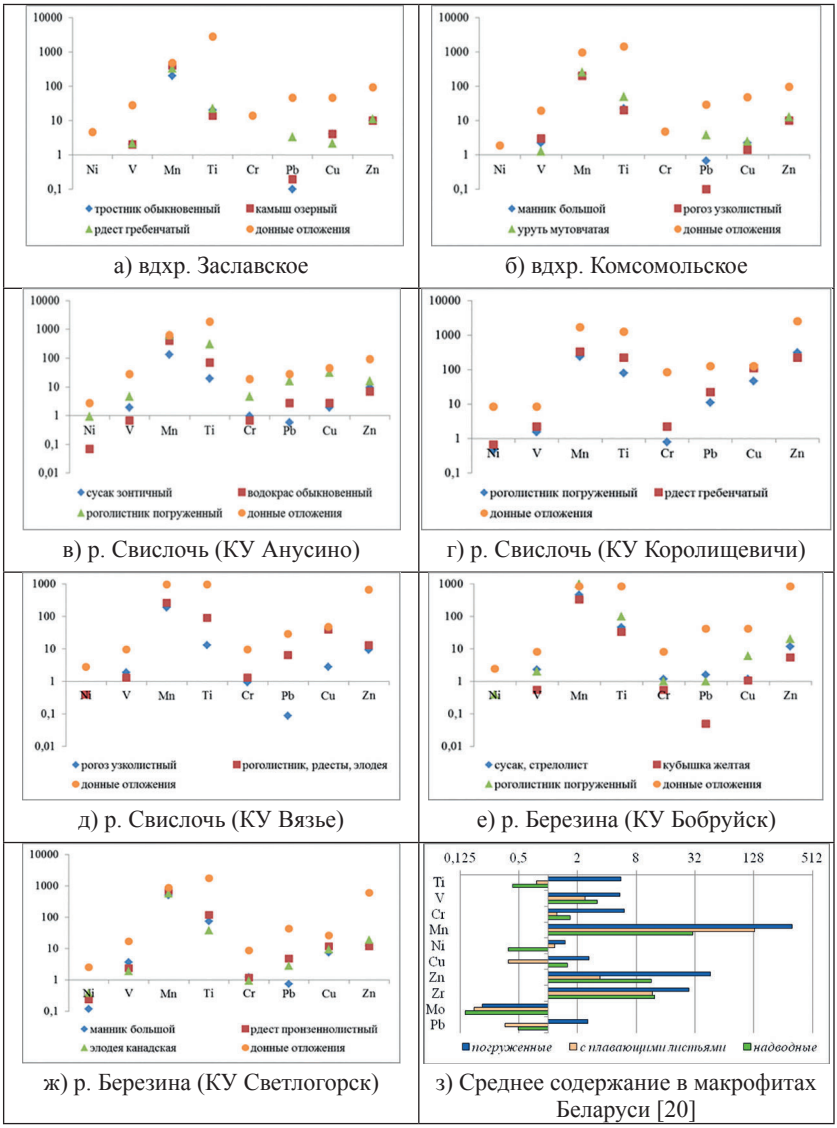


Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в макрофитах и донных отложениях водной экосистемы р. Свислочь – р. Березина, мг/кг АСВ

Fig. 3. Heavy metals concentration in macrophytes and bottom sediments of aquatic ecosystem r. Svisloch – r. Berezina, mg/kg ADS

Таблица 2. Значения индекса содержания тяжелых металлов в водных растениях (I_{pm}) на КУ р. Березина и р. Свислочь

Table 2. Values of index of heavy metals concentration in aquatic plants (I_{pm}) on key sites of r. Berezina and r. Svisloch

Водный объект (КУ) Water body (key site)	Вид растения Plant species	I_{pm}
р. Березина (Светлогорск)	манник большой	3,00
	рдест пронзеннолистный	5,38
	элодея канадская	2,95
р. Березина (Бобруйск)	сусак, стрелолист	2,17
	кубышка желтая	1,18
	роголистник погруженный	4,05
р. Свислочь (Вязье)	рогоз узколистный	0,86
	роголистник, рдесты, элодея	6,41
р. Свислочь (Королищевичи)	роголистник погруженный	11,96
	рдест гребенчатый	20,64
р. Свислочь (Анусино)	сусак зонтичный	1,02
	водокрас обыкновенный	2,83
	роголистник погруженный	13,65
вдхр. Заславское	тростник обыкновенный	1,11
	камыш озерный	1,16
	рдест гребенчатый	1,95
вдхр. Комсомольское	манник большой	1,22
	рогоз узколистный	0,99
	уруть мутовчатая	2,61

Донные отложения, служащие субстратом произрастания макрофитов, представлены в основном в литорали песками и песками заиленными, глубже илами опесчаненными. Содержание элементов в грунтах колеблется в широком диапазоне (табл. 1) и составляет: Ni от 1,93 (Комсомольское озеро) до 8,41 мг/кг АСВ (Королищевичи) (при средней величине для рек Беларуси 9,76 мг/кг [22]), для других элементов соответственно Cu – 26,04 (Светлогорск) – 126,15 (Королищевичи) (средняя 10,8); Pb – 27,48 (Анусино) – 126,15 (Королищевичи) (средняя 16,9); Zn – 91,6 (Анусино) – 2523 (Королищевичи) (средняя 29,7); Cr – 4,82 (Комсомольское озеро) – 84,1 (Королищевичи) (средняя 29,5); V – 8,31 (Бобруйск) – 28,32 (Заславское) (средняя 22,0); Mn – 472,0 (Заславское) – 1682,0 (Королищевичи) (средняя 713,0); Ti – 831,0 (Бобруйск) – 2832,0 (Заславское) (средняя 1515,0) мг/кг АСВ. Наиболее высокие концентрации металлов отмечены в донных отложениях р. Свислочь на КУ Королищевичи (рис. 3).

Заключение. В последние годы в целом отмечаются отрицательные тенденции в изменении экологического состояния исследованных водных объектов. Главными причинами антропогенного изменения являются воздействие гидротехнического строительства, объектов промышленного производства, селитебных территорий и рекреационного использования. К числу последствий антропогенного влияния относятся изменения в видовом составе и количественном развитии высшей водной растительности: появление монодоминантных и толерантных к изменению условий среды видов растений в сообществах, увеличение биомассы фитопланктона и низших водорослей, сокращение площади распространения и биомассы высших водных растений.

Видовой состав, характер и степень развития макрофитов р. Свислочь ниже г. Минска и низовья р. Березина сильно изменены под влиянием высокой антропогенной нагрузки. В видовом составе преобладают погруженные виды с высокой сапробной валентностью (α-мезосапробные виды): рдесты гребенчатый и пронзеннолистный, роголистник, уруть, элодея. Отмечается массовое развитие ряски малой и нитчатых водорослей, регулярно наблюдается сильное цветение воды.

Концентрация биогенных элементов во всех водных объектах (кроме КУ Анусино р. Свислочь) превышает нормативы ПДК, прозрачность малая и очень малая (0,4–1,0 м). На КУ Королищевичи р. Свислочь отмечается резкий запах гниения, наблюдаются пленки ПАВ. Во всех исследуемых водных объектах (кроме КУ Анусино р. Свислочь, расположенного выше г. Минска) трансформация коснулась практически всех гидрохимических показателей, а состояние отдельных объектов можно оценить как катастрофическое (р. Свислочь на КУ Королищевичи).

Растительность на участках, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие и загрязнение, накапливает тяжелые металлы в концентрациях, превышающих фоновые величины в десятки раз. Особенно высокими концентрациями характеризуются титан, цинк, медь и свинец, содержание которых многократно превышает фоновые значения для территории Беларуси, наименьшими – никель, ванадий и хром. По величине индекса содержания металлов в растениях заметно выделяется КУ Королищевичи р. Свислочь. Те же закономерности прослеживаются и в содержании тяжелых металлов в донных отложениях. Специфика такого распределения кроется в особенностях водосборов рек и наличия источников поступления металлов, связанных главным образом с воздействием локальных техногенных источников. Расположение наиболее загрязненных участков свидетельствует о техногенных изменениях, вызванных влиянием крупных городов, и необходимости реабилитации данных водных объектов.

Литература

1. Власов, Б. П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды : метод. рекомендации / Б. П. Власов, Г. С. Гигевич. – Минск : БГУ, 2002. – 84 с.

2. Гигевич, Г. С. Опыт оценки загрязнения озер по содержанию тяжелых металлов в водных растениях / Г. С. Гигевич, Б. П. Власов // География в XXI

веке: проблемы и перспективы : Материалы Междунар. научн. конф., Минск, 4–8 окт. 2004 г. / Белорус. гос. ун-т, Белорус. геогр. об-во; редкол. : И.И. Пирожник [и др.]. – Минск, 2004. – С. 17–18.

3. Гигевич, Г. С. Мониторинг высшей водной растительности как метод контроля за трансформацией природной среды / Г. С. Гигевич, Б. П. Власов // Природопользование в условиях дифференцированного антропогенного воздействия : сб. ст. – Minsk; Sosnowies, 2000. – С. 186–192.

4. Гигевич, Г. С. Биоиндикаторная роль макрофитов в процессах эвтрофирования озер / Г. С. Гигевич // Прикладные вопросы лимнологии Беларуси. – Минск, 1992. – С. 30–36.

5. Husak, S. Freshwater macrophytes as indicators of organic pollution / S. Husak, V. Sladecek, A. Sladeckova // Acta hydrochim et hydrobiol. – 1989. – № 6. – P. 693–697.

6. Власов, Б. П. Концепция и методика мониторинга водной растительности / Б. П. Власов, Г. С. Гигевич, Н. Д. Грищенкова // Методика проведения мониторинга растительного мира в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / под ред. А. В. Пугачевского. – Минск : Право и экономика, 2011. – С. 28–39.

7. Катанская, В. М. Методика исследования высшей водной растительности / В. М. Катанская // Жизнь пресных вод СССР. – М.; Л., 1956. – Т. 4. Ч. 1. – С. 60–182.

8. Винокуров, В. В. Методика инструментальных исследований прозрачности внутренних водоемов / В. В. Винокуров // Итоги гидробиологических исследований водных экосистем Белоруссии. – Минск, 1988. – С. 29–40.

9. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 39 с.

10. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А. Д. Семенова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1977. – 292 с.

11. Власов, Б. П. Отбор образцов донных отложений / Б. П. Власов // Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер : сб. ст. – Л., 1986. – С. 73–84.

12. Жуховицкая, А. Л. Геохимия озер Беларуси / А. Л. Жуховицкая, В. А. Генералова. – Минск, 1991. – 204 с.

13. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983. – 239 с.

14. Зырин, Н. Г. Спектральный анализ почв, растений и других биологических материалов / Н. Г. Зырин, А. И. Обухов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 334 с.

15. Мур, Дж. В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж. В. Мур, С. Рамамурти. –М. : Мир, 1987. – 288 с.

16. Vlasov, B. Estimation of pollution of lakes of Belarus under the contents of heavy metals in water plants and bottom sediments / B. Vlasov, G. Gigevich // Limnological review. – 2006. – Vol. 6. – P. 289–294.

17. Блакітны скарб Беларусі : Рэкі, азеры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб’ектаў : энцыклапедыя / Г.С. Жукоўская, А.У. Логінава, П.С. Лопух [і інш.]. – Мінск : БелЭн імя П. Броўкі, 2007. – 480 с.

18. Власов, Б. П. Накопление высшей водной растительностью техногенных элементов / Б. П. Власов, Г. С. Гигевич // Природная среда Беларуси. – Минск: 2002. – С. 266–269.

19. Власов, Б. П. Содержание тяжелых металлов в водных растениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга / Б. П. Власов, Н. Д. Грищенкова // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2011. – № 3. – С. 117–121.

20. Власов, Б. П. Мониторинг водной растительности // Монография: Мониторинг растительного мира в Республике Беларусь: результаты и перспективы / Б. П. Власов [и др.] ; под общ. ред. А. В. Пугачевского, А. В. Судника. – Минск : Беларуская навука, 2019. – С. 71–99.

21. Жуковская, Н. В. Содержание тяжелых металлов в высшей водной растительности водоемов и водотоков Беларуси: пространственные и видовые особенности / Н. В. Жуковская, Б. П. Власов, Н. В. Ковальчик // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. –2 019. – № 1. – С. 22–34.

22. Власов, Б. П. Содержание микроэлементов в донных отложениях водоемов и водотоков Беларуси по данным мониторинга / Б. П. Власов, Н. В. Жуковская, Н. В. Ковальчик // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. – 2017. – № 2. – С. 152–162.

Поступила в редакцию 07.10.2021 г.

УДК 574.4: 528.94

Д. Г. ГРУММО

ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

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

Аннотация. Изучение экосистемного биоразнообразия подзоны дубово-темнохвойных лесов выполнялось на региональном уровне с использованием карты растительности наземных экосистем. Для каждой ячейки рассчитывались такие числовые характеристики как лесистость, доля сельскохозяйственных земель, фрагментарность лесов, соотношение площадей коренных и производных лесов, соотношение площадей коренной и производной растительности, доля погибших лесов. Проведен анализ пространственного распределения этих показателей как в целом для исследуемой территории, так и в разрезе административных районов и особо охраняемых природных территорий.

Ключевые слова: биоразнообразие, лесистость, фрагментация леса, коренные и производные леса

D. G. GRUMMO

ASSESSMENT OF THE BIODIVERSITY STATE OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS BASED ON DIGITAL VEGETATION MAP

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

Annotation. The study of the ecosystem biodiversity of the subzone of oak-dark coniferous forests was carried out at the regional level using the vegetation map of terrestrial ecosystems. For each cell, such numerical characteristics were calculated as forest cover, the share of agricultural land, forest fragmentation, the ratio of the areas of primary and secondary forests, the ratio of the areas of primary and secondary vegetation, and the proportion of dead forests. The analysis of the spatial distribution of these indicators is carried out both for the study area as a whole and in the context of administrative districts and specially protected natural areas.

Keywords: biodiversity, forest coverage, forest fragmentation, indigenous and derivative forests

Введение. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в последние годы стали доступны для широкого круга исследователей, а их возможности в комплексе с другими источниками информации значительно расширили область изучения состояния и динамики природных экосистем на разных пространственных уровнях. Все большее внимание на данные ДЗЗ обращают исследователи, занимающиеся выявлением индикаторов состояния биоразнообразия экосистем, оценкой их функций и услуг [1].

В рамках Конвенции по биологическому разнообразию [2] разработан стратегический план, в котором определены области применения данных ДЗЗ, позволяющие значительно расширить знания о состоянии

и динамике исследуемых индикаторов биоразнообразия [3]. Предложены девять шагов по выбору индикаторов и дизайну методов их определения [1]. Индикаторы могут быть простыми и сложными. Простые индикаторы формируются на основе нескольких параметров, измеряемых непосредственно с помощью обработки данных дистанционного зондирования, например, тип экосистемы и ее площадь или фрагментарность лесов исследуемой территории [4]. Сложные индикаторы обычно выражаются в виде индексов и создаются на основе комплексного анализа данных ДЗЗ, наземных наблюдений, топографических и других данных с использованием методов математической статистики и пространственного моделирования [1]. Примерами могут служить исследования влияния человека (индекс воздействия человека) на нарушенность наземных экосистем на глобальном уровне [5] или пространственный анализ взаимодействия между экосистемными услугами в границах крупного урбанизированного сельскохозяйственного водораздела Среднего Запада США [6].

В работе [1, 7] рассмотрены основные принципы построения информационной системы дистанционного мониторинга биологического разнообразия лесов России, описаны экосистемные функции и услуги, критерии и индикаторы биоразнообразия лесов, которые могут оцениваться с использованием спутниковой информации, дана краткая характеристика современных спутниковых систем, приводятся основные требования к информационному обеспечению на разных пространственных уровнях.

В связи с вышеизложенным нами была разработана методология и дана оценка современного состояния экосистемного биоразнообразия на региональном уровне на основе геоботанической карты и с использованием данных ДЗЗ.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования были выбраны наземные экосистемы геоботанической подзоны дубово-темнохвойных (северной) лесов Беларуси [8], площадью 8210,9 тыс. га. В состав исследуемой территории входят (полностью или частично) 57 административных районов 4 областей (Витебской, Минской, Могилевской, Гродненской). Каждый район имеет специфические природные особенности вследствие уникальности природного ландшафта и обладает своими почвенными, болотными, водными, древесными и не древесными ресурсами. В связи с различиями природных условий исторически в тех или иных районах доминирует либо сельское, либо лесное хозяйство. Все эти особенности достаточно сильно проявляются на карте растительности северной геоботанической подзоны [9].

В ходе исследования решались следующие задачи: 1) разработать ключевые индикаторы оценки экосистемного биоразнообразия на региональном уровне; 2) оценить состояние биоразнообразия наземных экосистем модельной территории за последние 10 лет (2011–2020 гг.). Логическая схема последовательности научно-исследовательских работ по оценке состояния биоразнообразия наземных экосистем включала 4 этапа (рис. 1).

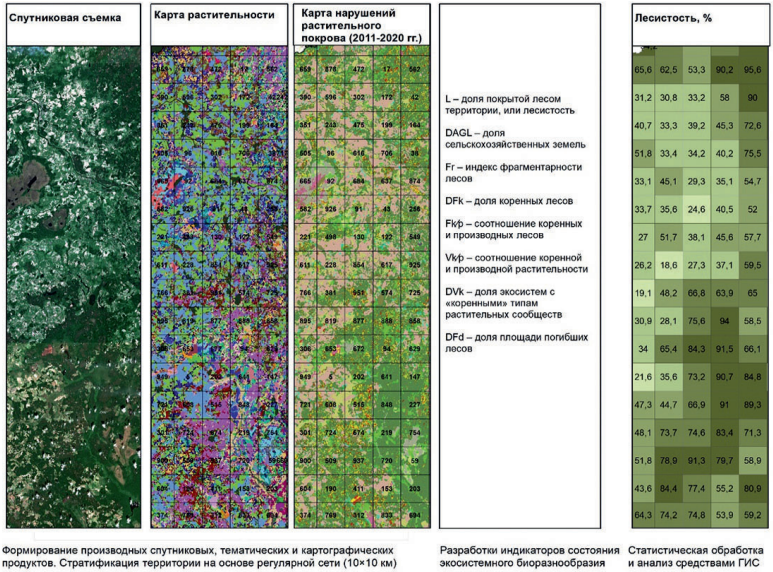


Рис. 1. Схема исследований по оценке состояния экосистемного биоразнообразия на региональном уровне

Fig. 1. Research framework for assessing the state of ecosystem biodiversity at the regional level

1) ***Подготовка производных спутниковых, тематических и картографических продуктов. Стратификация модельной территории на основе регулярной сети.***

В качестве базовой карты наземного мониторинга использовалась крупномасштабной карта растительности (М 1:100 000), вспомогательной – карта нарушений и изменения растительного покрова (рис. 1). Учитывая прикладной характер таких исследований тематические картографические продукты увязывались с единицами не природного, а административного районирования, а также с границами особо охраняемых природных территорий (ООПТ) национального (Березинский биосферный заповедник, национальные парки, заказники) и международного значения (сеть объектов «Изумрудной сети»).

Цифровые карты с сопряженной базой данных разбивались регулярной сетью, с размером ячейки 10×10 км. Следует отметить, что такой размер ячейки был определен исходя из задач регионального мониторинга, для локальных исследований размер страты должен быть более дробный (0,25–1 км^2).

2) ***Разработки индикаторов состояния экосистемного биоразнообразия на региональном уровне.***

На основе анализа литературных источников [1, 3–7 и др.] определен перечень показателей, которые могут являться индикаторами состояния биоразнообразия наземных экосистем на региональном уровне (рис. 1).

Доля покрытой лесом территории, или лесистость (L). Этот показатель определяется отношением суммы площадей лесов ($\sum s_F$) к сумме площадей всех наземных экосистем ($\sum s_i$) в ячейке регулярной сети:

$$L = \frac{\sum s_F}{\sum s_i} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Доля сельскохозяйственных земель (D_{AGL}) – отношение суммы площадей агроэкосистем ($\sum s_{AGL}$) к сумме площадей всех наземных экосистем ($\sum s_i$) в ячейке:

$$D_{AGL} = \frac{\sum s_{AGL}}{\sum s_i} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Индекс фрагментарности лесов (Fr) – отношение числа лесных участков к его лесистости (L) в ячейке.

Соотношение площадей коренных и производных лесов ($F_{k/p}$). Определяется как отношение суммы площадей (s) группы «коренных» (F_k – условные коренные хвойные и лиственные, длительно-производныt хвойные) к сумме площадей производных лесов (F_p – вторичные мелколиственные, первичные антропогенные на преобразованных местообитаниях, лесные культуры) в страте:

$$F_{k/p} = \frac{\sum s_{F_k}}{\sum s_{F_p}}. \quad (3)$$

Соотношение площадей коренной и производной растительности ($V_{k/p}$). Определяется как отношение суммы площадей (s) наземных «коренных» (V_k – условно коренные, кратковременно-производные сообщества лесов, болот, пойменных лугов) к сумме площадей «производных» (V_p – вторичные лиственные леса, искусственные леса, первичные антропогенные леса, нарушенные торфяники с длительно-производными и серийными сообществами, суходольные луга, сельскохозяйственные леса) типов растительных сообществ в каждой ячейке регулярной сети:

$$V_{k/p} = \frac{\sum s_{V_k}}{\sum s_{V_p}}. \quad (4)$$

Доля погибших лесов (D_{FD}) определяется как отношение суммы площадей погибших (в результате рубок, лесных пожаров, ураганных ветров,

засухи, массовых размножений вредителей) за последние 10 лет ($\sum s_{FD}$) к сумме площадей всех лесных экосистем ($\sum s_{Fi}$) в ячейке:

$$D_{FD} = \frac{\sum s_{FD}}{\sum s_{Fi}} \cdot 100^{0}\Big|_{0} \quad (5)$$

Для анализа наличия взаимосвязи значений индикаторов биоразнообразия экосистем и наличия природоохранного режима, дополнительно рассчитывали долю особо охраняемых природных территорий (D_{ZAP}) как отношение суммы площадей ООПТ ($\sum s_{ZAP}$) к площади ячейки (s_{ST}):

$$D_{ZAP} = \frac{\sum s_{ZAP}}{s_{ST}} \cdot 100\ \%. \quad (6)$$

Таким образом, значение D_{ZAP} является формализованной величиной наличия природоохранного режима.

3) ***Комплексная пространственная и статистическая обработка спутниковых, тематических и картографических продуктов средствами геоинформационных систем (ГИС), расчет индикаторов состояния биоразнообразия.***

На основе синтеза спутниковых, тематических и картографических продуктов создавалась база данных показателей состояния экосистемного биоразнообразия. Для каждой ячейки рассчитывались средневзвешенные (с учетом площади) значения индикаторов, рассчитывались статистические показатели как в целом для модельной территории, так и в разрезе административных районов и особо охраняемых природных территорий. Расчеты производились с помощью стандартных процедур пространственного и статистического анализа в среде ArcGIS 10.7 и MS Excel.

4) ***Анализ полученных результатов, формирование выводов и заключений по вопросам состояния и динамики лесных и других наземных экосистем модельной территории.***

Результаты и обсуждение. Результаты исследований представлены в таблицах 1–4 и проиллюстрированы на рисунках 2–8.

Лесистость (L). В пределах северной геоботанической подзоны этот показатель составляет в среднем 49,1±0,8 %. Наиболее высокой лесистостью отличаются северный, центральный и юго-восточные сектора (табл.1, рис. 2). В восточной части региона в связи со значительной сельскохозяйственной освоенностью показатели лесистости находятся в пределах 20–30 %. Среди административных районов наибольшее значение лесистости в Россонском (в среднем по ячейкам регулярной сети 85,1 %), Кличевском (76,2%), Городокском (76,1%), Полоцком (76,1%), наименьшее – в Шкловском (25,4%), Мстиславском (21,5%), Горецком (20,9%) районах.

Таблица 1. Значение индикаторов состояния биоразнообразия наземных экосистем территории исследования (в разрезе административных районов)

Table 1. The value of indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems in the study area (in the context of administrative districts)

Административный район Administrative region	Индикаторы состояния биоразнообразия наземных экосистем Indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems					
	L	D_{AGL}	Fr	$F_{k/p}$	$V_{k/p}$	D_{FD}
Витебская область						
Бешенковичский	48,3	38,0	0,79	1,1	0,5	6,0
Браславский	48,8	40,1	0,99	2,7	0,8	1,2
Верхнедвинский	58,4	34,0	0,61	1,6	0,8	4,0
Витебский	53,5	34,1	0,80	0,8	0,5	4,0
Глубокский	39,9	47,8	1,42	2,2	0,7	4,5
Городокский	76,1	16,3	0,23	1,2	0,8	3,3
Докшицкий	57,2	32,5	0,61	5,8	1,9	3,8
Дубровенский	32,8	57,9	1,53	2,1	0,2	10,2
Лепельский	63,2	23,0	0,47	3,6	2,2	4,1
Лиозненский	56,0	36,3	0,62	1,0	0,4	5,0
Миорский	38,4	43,1	1,10	1,5	0,6	4,3
Оршанский	33,0	57,8	1,40	2,1	0,3	13,8
Полоцкий	71,6	16,3	0,27	2,6	1,6	3,8
Поставский	45,8	44,2	0,96	2,1	0,6	3,6
Россонский	85,1	10,3	0,08	2,7	0,0	3,9
Сенненский	52,5	38,0	0,73	1,2	0,5	4,5
Толочинский	39,4	50,9	1,00	2,1	0,4	7,9
Ушачский	62,4	24,2	0,56	1,7	0,8	6,0
Чашникский	46,3	36,5	0,88	1,1	0,5	3,9
Шарковщинский	30,8	53,4	1,49	1,3	0,4	3,5
Шумилинский	56,8	29,8	0,56	1,0	0,6	2,9
Гродненская область						
Островецкий	55,0	40,1	0,52	6,4	1,0	3,6
Ошмянский	39,5	52,6	0,96	2,5	0,4	5,4
Сморгонский	43,8	48,5	0,86	7,0	0,8	5,1
Минская область						
Березинский*	59,7	29,5	0,29	5,5	1,2	7,5
Борисовский	57,0	26,9	0,31	9,5	2,0	3,9
Вилейский	50,3	39,8	0,59	7,9	0,9	4,7
Воложинский*	29,2	56,5	1,62	3,8	0,6	7,3
Дзержинский*	24,6	59,6	1,83	2,2	0,4	10,2

Окончание табл. 1

Административный район Administrative region	Индикаторы состояния биоразнообразия наземных экосистем Indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems					
	L	D_{AGL}	Fr	$F_{k/p}$	$V_{k/p}$	D_{FD}
Крупский	54,1	32,2	0,77	3,6	1,2	4,4
Логойский	57,9	31,7	0,58	3,9	1,1	3,5
Минский	28,1	36,3	1,45	4,5	2,5	4,6
Молодечненский	36,7	51,7	1,11	8,1	0,7	8,7
Мядельский	52,5	35,5	0,64	6,5	1,1	2,1
Смолевичский	38,4	41,4	1,27	7,9	1,3	5,0
Червенский*	43,1	47,1	0,46	7,5	0,8	3,7
Могилевская область						
Белыничский	49,8	33,4	0,76	4,1	1,3	6,4
Быховский*	45,9	29,8	0,70	4,3	1,3	5,3
Горецкий	20,9	70,5	2,59	1,8	0,2	8,7
Дрибинский	36,4	51,0	1,06	3,4	0,5	9,6
Климовичский	51,1	31,5	0,66	1,9	0,7	4,5
Кличевский*	76,2	13,7	0,16	4,0	2,0	5,3
Костюковичский	48,4	29,6	0,70	1,8	0,9	4,8
Краснопольский*	58,5	19,4	0,54	2,2	1,6	3,8
Кричевский	33,6	42,1	1,21	2,7	0,8	7,9
Круглянский	36,2	50,7	1,13	2,1	0,6	7,1
Могилевский	32,3	46,5	1,25	3,3	0,9	12,7
Мстиславский	21,5	60,7	1,93	1,9	0,4	5,5
Славгородский*	54,0	27,3	0,61	4,4	1,5	5,2
Хотимский	40,5	42,7	1,06	1,6	0,6	3,8
Чаусский	42,7	42,3	1,03	2,6	0,7	9,9
Чериковский	60,3	25,8	0,45	4,1	1,3	8,0
Шкловский	25,4	65,8	1,32	5,3	0,3	11,2
Общий итог	**49,1**	**37,6**	**0,82**	**3,5**	**0,9**	**5,3**

Примечание: * – входит частично, L – лесистость, D_{AGL} – доля сельскохозяйственных земель, Fr – индекс фрагментарности лесов, $F_{k/p}$ – соотношение площадей коренных и производных лесов, $V_{k/p}$ – соотношение площадей коренной и производной растительности, D_{FD} – доля погибших лесов.

На особо охраняемых природных территориях региона значение лесистости в среднем выше в 1,4 раза и составляет 66,7±2,7% (табл. 2, 3). Взаимосвязь между значениями лесистости (L) и наличием режима ООПТ (D_{ZAP}) прослеживается как хорошо выраженная тенденция: коэффициент парной корреляции (r) = 0,352) (табл. 4, рис. 3).

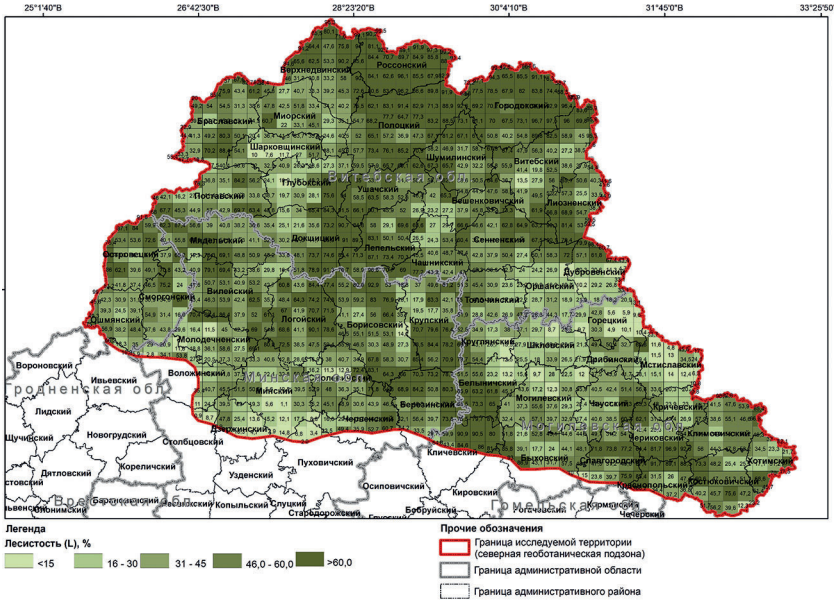


Рис. 2. Лесистость территории северной геоботанической подзоны Беларуси (по состоянию на 2020 г.)

Fig. 2. Forest cover of the northern geobotanical subzone of Belarus (for 2020)

Таблица 2. Средневзвешенные значения индикаторов состояния биоразнообразия наземных экосистем особо охраняемых природных территорий северной геоботанической подзоны

Table 2. Average values of indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems of specially protected natural areas of the northern geobotanical subzone

Название / Title	Площадь, га Area, ha	Индикаторы состояния биоразнообразия наземных экосистем Indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems				
		L	Fr	$F_{k/p}$	$V_{k/p}$	D_{FD}
Заказники местного значения	76410,2	59,9	0,43	4,8	1,7	4,7
Заказники республиканского значения	246305,0	68,8	0,33	3,1	1,9	1,2
Березинский биосферный заповедник	85134,4	80,1	0,11	9,5	5,7	0,2
Национальные парки	159236,0	59,7	0,59	5,7	1,3	0,7
Общий итог	**567085,6**	**66,7**	**0,38**	**5,0**	**2,3**	**1,4**

Примечание: L – лесистость, Fr – индекс фрагментарности лесов, $F_{k/p}$ – соотношение площадей коренных и производных лесов, $V_{k/p}$ – соотношение площадей коренной и производной растительности, D_{FD} – доля погибших лесов.

Таблица 3. Статистические показатели индикаторов состояния биоразнообразия наземных экосистем северной геоботанической провинции Беларуси

Table 3. Statistics of indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems in the northern geobotanical province of Belarus

Статистические показатели Statistical indicators	Индикаторы состояния биоразнообразия наземных экосистем Indicators of the state of biodiversity of terrestrial ecosystems					
	L	D_{AGL}	Fr	$F_{k/p}$	$V_{k/p}$	D_{FD}
Модельная территория в целом (n=810)						
M	49,1	37,6	0,82	3,5	1,0	5,4
±m	0,8	0,7	0,03	0,2	0,1	0,2
Me	47,3	38,0	0,61	2,2	0,6	4,3
σ	21,7	20,3	0,8	4,4	1,3	4,4
Особо охраняемые природные территории в границах модельной территории (n=47)						
M	66,7	22,8	0,38	5,0	2,3	1,4
±m	2,7	1,6	0,06	0,5	0,2	0,5
Me	65,6	21,5	0,31	2,9	1,2	0,8
σ	18,8	18,4	0,38	3,1	1,6	3,4

Примечание: L – лесистость, DAGL – доля сельскохозяйственных земель, Fr – индекс фрагментарности лесов, Fk/p – соотношение площадей коренных и производных лесов, Vk/p – соотношение площадей коренной и производной растительности, DFD – доля погибших лесов, M – средняя величина, m – ошибка средней величины, Me – медиана, σ – среднеквадратическое отклонение, n – объём выборки.

Таблица 4. Коэффициенты парной корреляции (n=810) между значениями индикаторов биоразнообразия наземных экосистем и формализованной оценкой наличия природоохранного режима (DZAP)

Table 4. Coefficients of pairwise correlation (n = 810) between the values of indicators of biodiversity of terrestrial ecosystems and a formalized assessment of the existence of a conservation regime

Сравниваемые показатели Compared indicators	Индикаторы оценки экосистемного биоразнообразия Ecosystem biodiversity assessment indicators					
	L	$F_{k/p}$	D_{AGL}	$V_{k/p}$	D_{FD}	Fr
D_{ZAP}	0,352	0,115	–0,378	0,387	–0,252	–0,237

Примечание: D_{ZAP} – доля особо охраняемых природных территорий, L – лесистость, $F_{k/p}$ – соотношение площадей коренных и производных лесов, D_{AGL} – доля сельскохозяйственных земель, $V_{k/p}$ – соотношение площадей коренной и производной растительности, D_{FD} – доля погибших лесов, Fr – индекс фрагментарности лесов, n – объём выборки.

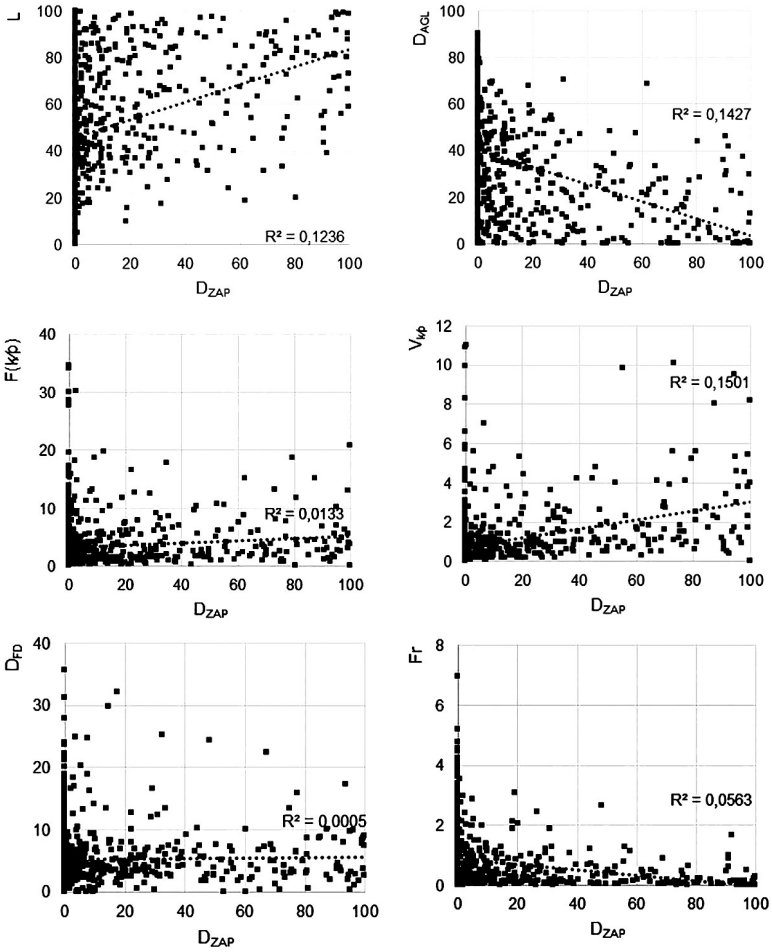


Рис. 3. Изменение индикаторов состояния биоразнообразия экосистем вдоль градиента значений формализированной величины режима ООПТ (D_{ZAP})
Fig. 3. Change in indicators of the state of biodiversity of ecosystems along the gradient of values of the formalized value of the protected area regime (D_{ZAP})

Также следует отметить, что существует некоторое расхождение с официальными данными в отношении покрытых лесом земель. По-видимому, это связано с выявленным активным зарастанием ранее нелесных земель (прежде всего сельскохозяйственного назначения) и несвое-

временной передачей в состав государственного лесного фонда. Площади таких земель в пределах исследуемой территории составили 320,6 тыс. га, в т. ч. в составе Витебской области – 255,1 тыс. га, Минской – 21,0 тыс. га, Могилевской области – 44,5 тыс. га [9].

Доля сельскохозяйственных земель (D_{AGL}). В среднем доля сельскохозяйственных земель в регионе составляет 37,6±0,7 %, при этом наибольшая степень освоения характерна для субъектов восточной и западной частей исследуемой территории. Районы с наибольшей долей агроэкосистем в структуре земельного фонда: Горецкий – 70,5 %, Шкловский – 65,8 %, Мстиславский – 60,7 %, Дубровенский – 57,9 % (табл. 1).

В пределах объектов природно-заповедного фонда региона значения D_{AGL} значительно ниже (табл. 3) и составляют в среднем 22,8±1,6%; сопряженность между парными значениями D_{AGL}/D_{ZAP} характеризуется коэффициентом корреляции (r= – 0,378) (табл. 4, рис. 4).

Фрагментарность лесов (Fr). В пределах северной геоботанической подзоны значение индекса фрагментарности лесов составляет в среднем 0,82±0,03 (табл. 3). Анализ пространственного распределения значений Fr показывает наличие на исследуемой территории трех проблемных зон (Fr в пределах 1,40–2,59): в восточной (Оршанский, Дубровенский, Горецкий районы), в северо-западной (Шарковщинский, Глубокский районы) и юго-западной частях (Минский, Дзержинский районы) (рис. 5). Заболоченные территории (в пределах Березинского, Белыничского, Борисовского районов) и слабо освоенные в хозяйственном отношении районы северной части подзоны (Россонский, Городокский, Верхнедвинский, Полоцкий, Ушачский районы) имеют относительно низкие значения индексов фрагментарности (Fr – 0,08–0,61). Для некоторых субъектов (Лиозненский, Островецкий районы) с достаточно высокой долей лесистости из-за сильной расчлененности лесных массивов локально индекс фрагментарности может приближаться к значениям, характерным для проблемных по этому показателю районов (Fr – 1,84–2,08).

Анализ результатов исследования показывает наличие взаимосвязи между значением индекса фрагментарности лесов (Fr) и режимом особо охраняемых природных территорий (D_{ZAP}): коэффициент парной корреляции составляет –0,237 (рис. 3, табл. 4). Наименее фрагментированные леса размещены в пределах Березинского заповедника (Fr в среднем 0,11, пределы 0,03–0,27), а также заказников «Дрожбитка-Свина» (Fr – 0,07), «Красный Бор» (Fr–0,05), «Синьша» (Fr –0,08), «Острова Дулебы» (Fr – 0,07). В среднем на территориях природно-заповедного фонда значение Fr составляет 0,38±0,06, что в 2,2 раза ниже аналогичного показателя по всей исследуемой территории (табл. 3).

Соотношение коренных и производных лесов ($F_{k/p}$) в среднем по субъектам составляет 3,5±0,2, на особо охраняемых природных территориях 5,0±0,5 (см. таблицу 3). Самые высокие показатели характерны для центральной и западной частей региона исследования: Борисовский ($F_{k/p}$ в среднем 9,5), Вилейский (7,9), Смолевичский районы (7,9) (табл. 1, рис. 6).

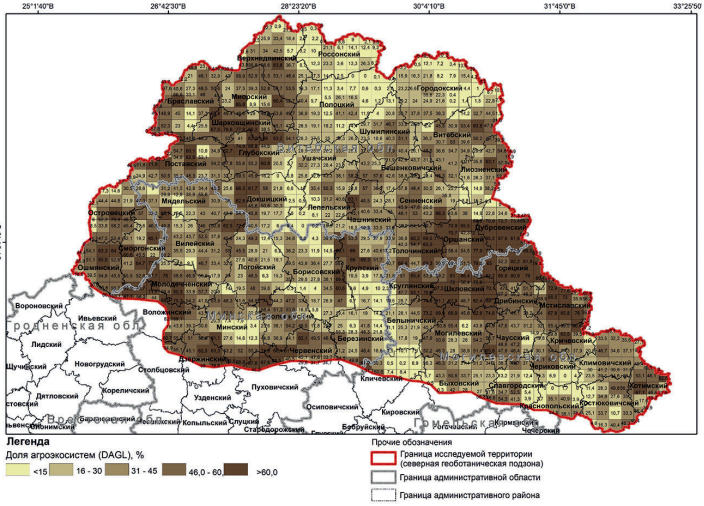


Рис. 4. Доля сельскохозяйственных земель в пределах северной геоботанической подзоны Беларуси (по состоянию на 2020 г.)

Fig. 4. The share of agricultural land within the northern geobotanical subzone of Belarus (for 2020)

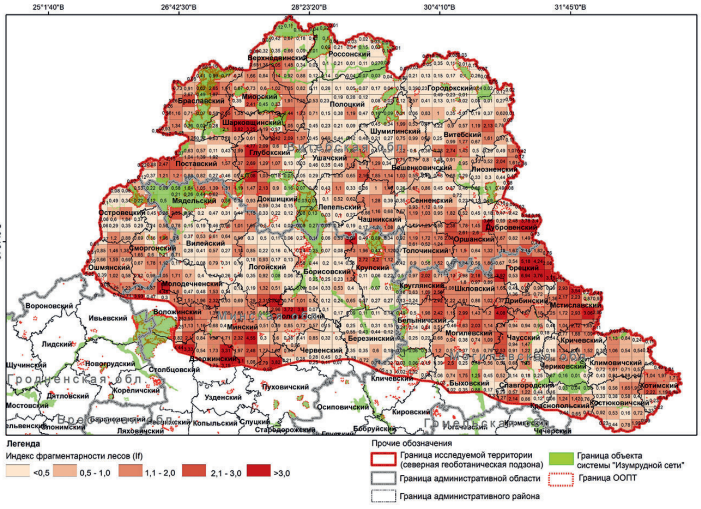


Рис. 5. Фрагментарность лесов в пределах северной геоботанической подзоны Беларуси (по состоянию на 2020 г.)

Fig. 5. Fragmentation of forests within the northern geobotanical subzone of Belarus (for 2020)

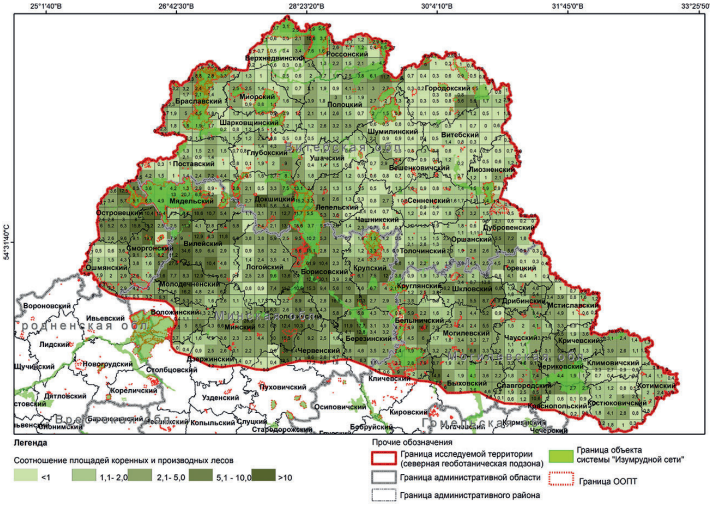


Рис. 6. Соотношение площадей коренных и производных лесов в пределах северной геоботанической подзоны Беларуси (по состоянию на 2020 г.).

Fig. 6. The ratio of the areas of primary and secondary forests within the northern geobotanical subzone of Belarus (for 2020).

Среди объектов природно-заповедного фонда региона наиболее высокой долей коренных лесов характеризуются: Березинский биосферный заповедник ($F_{k/p}$ в среднем 9,5), национальный парк «Нарочанский» (7,3), заказники «Голубицкая пуща» (7,4), «Сорочанские озера» (6,8), «Красный Бор» (5,4).

Соотношение площадей коренной и производной растительности ($V_{k/p}$) в пределах северной геоботанической подзоны в среднем составляет 1,0±0,1; в границах ООПТ этот показатель выше в 2,3 раза (табл. 3). Анализ пространственного распределения значений $V_{k/p}$ свидетельствует, что на значительной части исследуемой территории процессы трансформации растительного покрова имеют интенсивный характер. Участки с сохранившейся коренной растительностью, как правило, приурочены к территории Березинского биосферного заповедника, а также небольшими массивами встречаются в пределах Полоцкого (заказники «Глубокое-Большое Островито», «Дрожбитка-Свина»), Городокского (заказник «Сурмино»), Россонского (заказники «Красный Бор», «Синьша»), Борисовского и Крупского административных районов (рис. 7).

Сопряженность между значениями индикаторов $V_{k/p}$ и D_{ZAP} характеризуется значением коэффициента корреляции 0,387, что является индикатором эффективности введения природоохранного режима в вопросах сохранения и восстановления регионального биоразнообразия (табл.4, рис. 3).

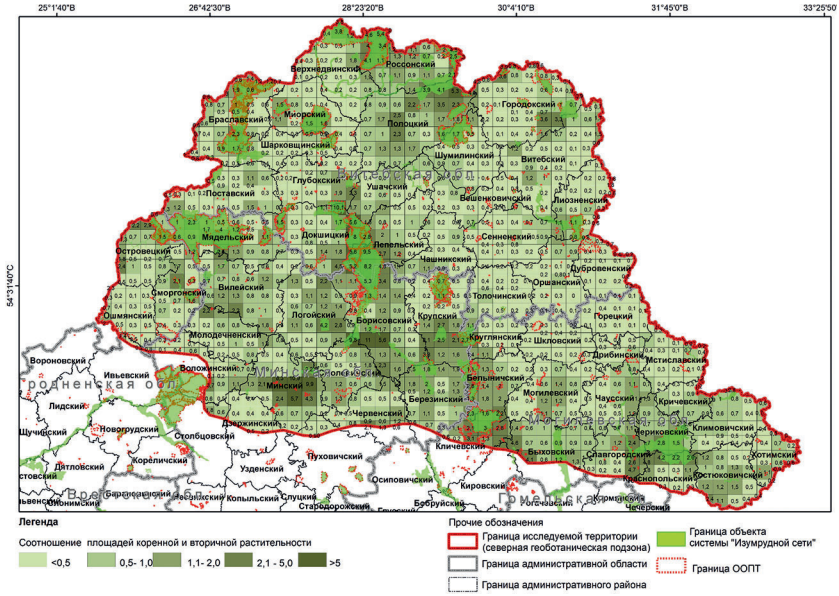


Рис. 7. Соотношение площадей коренной и производной растительности ($V_{k/p}$) в пределах северной геоботанической подзоны

Fig. 7. The ratio of the areas of primary and secondary vegetation ($V_{k/p}$) within the northern geobotanical subzone

Доля площади погибших лесов (D_{FD}). За последние пять лет в лесах нескольких субъектов исследуемой территории произошли значительные изменения, связанные с целым рядом деструктивных воздействий (рубки леса, усыхание, пожары и т.д.). На рисунке 8 приводится карта субъектов, входящих в границы северной геоботанической подзоны и отражающая доли площади погибших и вырубленных лесов за 2011–2020 гг. Наибольшие изменения в лесном покрове выявлены в Оршанском (13,8 %), Могилёвском (12,7 %), Шкловском (11,2 %), Дубровенском, Дзержинском (по 10,2 %) районах (табл. 1, рис. 8). Однако в целом следует отметить, что негативная тенденция к стремительному сокращению площадей лесов в пределах исследуемой территории не наблюдается. Доля площади погибших лесов в среднем составляет 5,4±0,2 %, в пределах объектов природно-заповедного фонда региона – 1,4±0,5 % (табл. 3).

Сопряженность между значениями D_{FD} и D_{ZAP} относительно невысокая ($r = -0,237$) (табл. 4, рис. 3). Обращает внимание (табл. 2) уменьшение значения доли погибших лесов по мере усиления ограничений природоохранного режима в ряду: заказники местного значения (4,7) > заказники республиканского значения (1,2) – национальные парки (0,7) > Березинский биосферный заповедник (0,2).

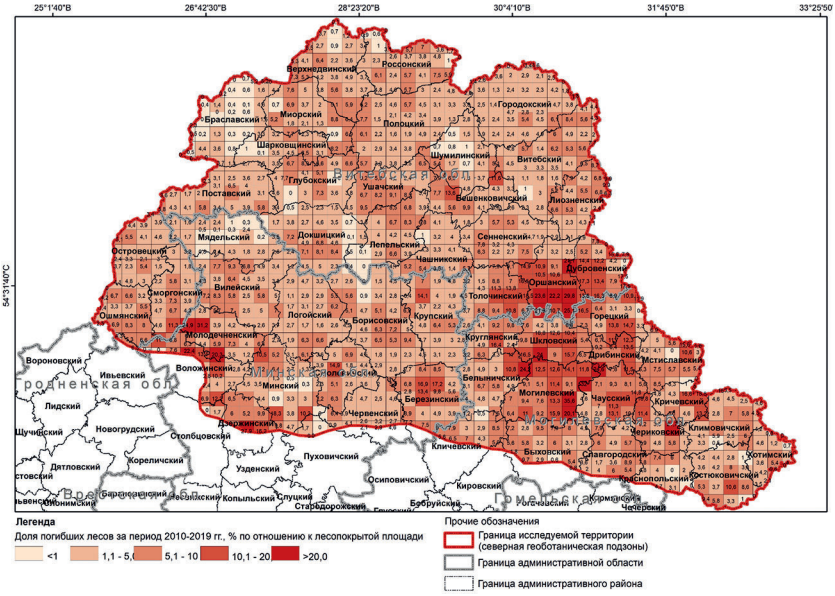


Рис. 8. Доля погибших лесов в пределах северной геоботанической подзоны Беларуси (за период с 2010 по 2019 гг.)

Fig. 8. The proportion of dead forests within the northern geobotanical subzone of Belarus (for the period from 2010 to 2019)

Заключение. Предложенные индикаторы состояния биоразнообразия достаточно информативно отражают степень дигрессионных изменений наземных экосистем. В их распределении прослеживается взаимосвязь с современным уровнем хозяйственного воздействия, природными и социально-экономическими особенностями развития, наличием природоохранного режима. В связи с этим данные показатели могут быть использованы для развития системы ООПТ, создания системы дистанционного мониторинга, территориального планирования устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития регионов.

Рассмотренные индикаторы можно отнести к структурным параметрам биоразнообразия, которые позволяют оценить пространственное распределение показателей экосистемного разнообразия с использованием спутниковых данных. Поскольку представления о взаимосвязях между биоразнообразием и экосистемными функциями / услугами активно развиваются, спутниковые данные позволяют также оценивать выполнение экосистемных функций.

Литература

1. Ершов, Д. В. Оценка биоразнообразия Центрального федерального округа по спутниковой карте наземных экосистем / Д. В. Ершов [и др.] // Лесоведение. – 2015. – № 6. – С. 403–416.

2. CBD (Convention on biological diversity) // Forest bio-diversity. – 2008. – [Electronic resource]. – M: https://www.cbd.int/forest/about.shtml. – Date of access: 12.10.2021.

3. Strand, H. Sourcebook on remote sensing and biodiversity indicators / H. Strand [et al.] // Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series. – 2007. – № 32. – 203 p.

4. Wickham, J. D. Temporal change in forest fragmentation at multiple scales / J. D. Wickham, K. H. Riiters, T. G. Wade, J. W. Couiston // Landscape Ecology. – 2007. – № 22. – P. 481–489.

5. Sanderson, E. The human footprint and the last of the wild / E. Sanderson [et al.] // Bioscience. – 2002. – V. 52. – № 10. – P. 891–904.

6. Qiu, J. Spatial interactions among eco-system services in an urbanizing agricultural watershed / J. Qiu, M. G. Turner // PNAS. – 2013. – V. 110. – № 29. – P. 12149–12154.

7. Ершов, Д. В. Основные принципы построения информационной системы дистанционного мониторинга биологического разнообразия лесов России / Д. В. Ершов, Н. В. Лукина // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. –2013. – Т. 10. – № 2. – С. 46–60.

8. Юркевич, И. Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адерихо. – Минск : Наука и техника, 1979. – 248 с.

9. «Структура, состояние, основные формы и тенденции в динамике растительного покрова Беларуси» подраздел задания «Структура, состояние, основные формы и тренды динамики растительного покрова Беларуси»: отчёт о НИР (заключ.) / Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси; рук. А. В. Судник, А. В. Пучило. – Минск, 2020. – 1234 с. – № ГР 20161169.

Поступила в редакцию 18.10.2021 г.

УДК 574.4; 630*6

М. В. ЕРМОХИН[1], Т. Л. БАРСУКОВА[1], С. А. УГЛЯНЕЦ[1],
В. В. ЛУКИН[1], Н. В. КНЫШ[1], Л. А. ДУДКИНА[1],
В. Е. МЫЧКО[1], Д. И. БЕРНАЦКИЙ[2]

ДИНАМИКА И СОСТОЯНИЕ БОЛОТНЫХ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ

[1]*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: nan.botany@yandex.by*
[2]*Национальный парк «Беловежская пуща», а.г. Каменюки, Беларусь, e-mail: npbp@mail.ru*

Аннотация. Выполнена оценка состояния и реконструирована динамика болотных и заболоченных сосновых лесов на территории белорусской части Беловежской пущи, выявлены основные определяющие ее факторы. Площадь этих лесов на момент обследования составляла 2,7 тыс.га. Преимущественно это мелкоконтурные участки, разбросанные по всей территории национального парка и четыре более крупных массива, расположенных недалеко от населенных пунктов Хидры, Попелево, Новый Двор, Гринки. По результатам геоботанических исследований, они расклассифицированы на 6 групп: *Pinetum polytrichosum*, *P.ledosum*, *P. caricoso-sphagnosum*, *P. caricosum*, *P. fontinale-herbosum* и *P. ledosum* с признаками осушения и производные от них сообщества. Изменения в продуктивности и, соответственно, сдвиги в типах леса и сокращение площади наиболее увлажненных из них начались не с момента потепления климата в начале 1990-х годов, и не с момента массовой осушительной мелиорации на прилегающих территориях (1970–1980 гг.) а в период сдвига в режиме атмосферных осадков с конца 1940-х годов. Последующее интенсивное осушение территории вызвало резкое ухудшение состояния древостоев, привело к глубокому падению прироста и повышению отпада деревьев в 1971–1987 гг., интенсификации изменения состава и структуры древостоев (начало формирования в монодоминантных сосновых насаждениях второго яруса из березы пушистой и ели). Наиболее сильной трансформации подверглись насаждения заболоченных и болотных сосновых лесов, расположенные в непосредственной близости от спрямленных водотоков или осушительных систем.

Ключевые слова: заболоченные и болотные сосновые леса, Беловежская пуща, состояние, динамика, классификация, ширина годичных колец

M. V. YERMOKHIN[1], T. L. BARSUKOVA[1], S. A. UHLYANETS[1],
V. V. LUKIN[1], N. V. KNYSH[1], L. A. DUDKINA[1],
V. E. MYCHKO[1], D. I. BERNATSKI[2]

DYNAMICS AND CONDITION OF BOG AND BOGGY PINE FORESTS IN BELOVEZHSKAYA PUSHCHA

[1]*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Science of Belarus Belarus, Minsk, e-mail: nan.botany@yandex.by*
[2]*National Park «Belovezhskaya Pushcha», Kamenyuki, Belarus, npbp@mail.ru*

Annotation. Within the project we assessed conditions, reconstructed dynamics and main factors determining the dynamics of bog and boggy pine forests on the territory of the Belarusian

part of Belovezhskaya Pushcha. Their total area at the time of the survey was 2.7 thousand hectares. Mostly these are small areas scattered throughout the national park and four larger sites located near the Khidry, Popelevo, Novy Dvor, and Grinki settlements. According to the results of geobotanical studies, bog and boggy pine forests are classified into six groups: *Pinetum polytrichosum*, *P.ledosum*, *P. caricoso-sphagnosum*, *P. caricosum*, *P.fontinale-herbosum*, and drained *P.ledosum* and communities originating from them. Changes in productivity and, accordingly, transformations of forest types and a reduction in the area of the most humid of them, begin from the late 1940s after the shift in precipitation regime. Subsequent intensive drainage in 1970–1980s caused a severe deterioration of forest stands, a deep drop in growth and increased tree mortality in 1971–1987, as well as intensification of changes in the stands structure (the intensive growth of birch and spruce in monodominant pine stands). The most significant transformation was observed in bog and boggy pine forests located near straightened watercourses and drainage systems.

Keywords: bog and boggy pine forests, Belovezhskaya Pushcha, conditions, dynamics, classification, tree rings

Введение. В настоящее время болота в Беловежской пуще занимают значительную часть ее территории (28,1 тыс. га или 29,1%) и имеют огромное значение для поддержания устойчивого развития и сохранения биоразнообразия экосистем. Однако широкомасштабная осушительная мелиорация, проведенная в 1950-1980 гг. вокруг пущи, в той или иной мере оказала влияние на всю её территорию. Согласно некоторым исследованиям, в сосновых насаждениях, расположенных на расстоянии 1-2 км от объектов осушения, имело место некоторое повышение текущего прироста древостоев, обогащение напочвенного покрова мезофитными видами [1].

В то же время, анализ архивных материалов национального парка показал, что в пуще после проведения осушения, которое почти совпало по времени с климатической флуктуацией, приведшей к потеплению и снижению количества осадков [2], сфагновые сосняки стали трансформироваться в менее увлажненные типы леса [3], а в настоящее время они практически исчезли. Многие исследователи связывают увеличение площадей короедных очагов и усыхание еловых древостоев в том числе с последствием осушения [4].

Многолетнее изучение уровня грунтовых вод на территории Беловежской пущи показало, что на современном этапе наблюдается тенденция к стабилизации среднегодовых значений уровня грунтовых вод и любое вмешательство, связанное с его искусственным понижением либо повышением, может привести к повторному выходу экосистемы из равновесного положения [5]. Тем не менее, ухудшение состояния древостоев и трансформация типологической структуры болотных и заболоченных лесов Беловежской пущи продолжается, поэтому необходима более достоверная оценка и определение факторов среды, влияющих на эти процессы.

Объекты и методы исследований. Объектами исследования послужили насаждения болотных и заболоченных сосновых лесов различных типов леса как одни из наиболее чувствительных к осушению. Кроме того, возраст деревьев сосны в них превышает 200 лет, что позволяет реконструировать произошедшие изменения за долгий период. В соответ-

ствии с материалами лесоустройства на 2015 год они занимают на территории Беловежской пущи площадь 2,7 тыс.га. Преимущественно это мелкоконтурные участки, разбросанные по всей территории национального парка и четыре более крупных массива, расположенные недалеко от населенных пунктов Ясень-Мыльниск, Попелево, Новый Двор, Гринки (рис. 1). Исследования проведены на четырех постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в 1977-1979 гг. сотрудниками научного отдела Беловежской пущи (ППП №№ 41С, 46С, 48С, 52С) и 55 временных пунктах учёта (ВПУ) (рис. 1, табл. 1).

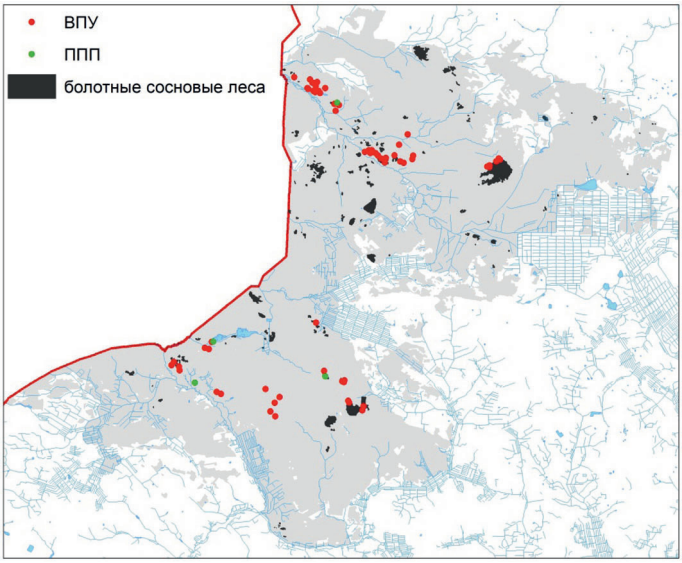


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования

Fig. 1. Scheme of the plots location

При исследовании структуры и оценке лесоводственно-таксационных показателей древостоев использовались общепринятые в лесоведении методы исследования экосистем [6]. На ППП проведен весь комплекс очередных 5-ти летних исследований: сплошной замер окружностей стволов и высот деревьев с оценкой их состояния, описание подроста, подлеска и живого напочвенного покрова.

Учет подроста по породам, категориям состояния и группам высот проводился на площадках ($n \geq 24$) размером 2х2 м, равномерно размещенным по ППП.

Описание живого напочвенного покрова (вид растения и его проективное покрытие) выполнено на площадках ($n \geq 24$) размером 1х1 м, равномерно размещенным по ППП.

Таблица 1. Краткая характеристика объектов исследования

Table 1. Brief characteristics of the research objects

№№пп NN	Тип леса Forest type	Возраст старшего поколения деревьев, лет Age of the oldest tree generation, years	1 ярус I layer		2 ярус II layer		Подрост Undergrowth		Глубина торфа, м Peat depth, m
			Состав Composition	Полнота Density	Состав Composition	Полнота Density	Состав Composition	Количество, шт/га Quantity, pcs / ha	
1	С.баг.	175	10С	0,6	нет	нет	5Бб3Е2Д	580	не изм.
2	С.ос.	185	9С1Бп	0,7	10Бп+Е	0,1	6Е4Бп	540	не изм.
3	С.ос.	185	8С2Бп	0,6	10Бп	0,1	8Е2Бп	570	не изм.
4	С.ос-сф.	270	8С2Бп	0,5	6Олч3Бп1Е	0,3	6Е4Д	590	не изм.
5	С.дм.	110	10С	0,7	10Бп+Е	0,1	7Бп3Е+Д	1590	не изм.
6	С.ос.	265	9С1Бп	0,7	9Е1Бп	0,1	7Е3Бп	1000	не изм.
7	С.баг.	235	10С	0,6	нет	нет	7Бп3Е	340	1,0
8	С.баг.	105	10С	0,7	нет	нет	7Бб2Д1Е+Бп	1730	1,5
9	С.баг.	220	10С	0,6	10Бп+Е	0,1	7Бп3Е	840	1,5
10	С.баг.	205	10С	0,7	5Е5Бп	+	8Бп2Е	1560	1,5
11	С.ос.	245	4С3Бп3Олч	0,8	10Е	0,1	7Олч3Е	1140	не изм.
12	С.ос-сф.	165	4С6Бп	0,7	3Е3Бп2С2Олч	+	7Е3Бп	240	не изм.
13	С.баг.	215	10С	0,8	10Бп	+	9Бп1Е	1760	1,5
14	С.дм.	265	10С	0,6	10Бп+Е	0,2	нет	0	0,4
15	С.баг.	95	10С	0,7	10Бп+С	0,1	10Бп+Е	4260	0,8
16	С.ос-сф.	185	10С	0,6	10С	+	8С2Бп	800	2,1
17	С.баг.	170	10С	0,7	нет	нет	10С	70	2,1
18	С.дм.	95	9С1Бп	0,8	10Бп	0,1	9Бп1Бб+Е	4470	1,0
19	С.баг.	145	10С	0,8	нет	нет	8Бп1Бб1Е	650	0,8
20	С.баг.	190	9С1Е	0,7	5Е5Бп+Бб	0,1	6Е4Бп	860	0,3
21	С.баг.	205	10С+Е	0,6	5Е5Бп	+	5Бп2бб3Е1Д	790	0,4
22	С.баг.	200	10С	0,5	5Бп5Бб	+	5Бб1Бп1Д2С1Е	770	1,5
23	С.баг.	200	10С	0,6	8Е2Бп	0,1	6Бп3Е1Д	630	1,7
24	С.ос-сф.	170	9С1Бп	0,7	5Е5Бп	0,1	7Бп1Бб2Е	2110	0,7
25	С.баг.	195	10С	0,5	3Е1С3Бп3Бб	+	5Е3Бб2Бп	1400	1,0
26	С.пр-тр.	260	6С3Е1Ос+Олч	0,4	10Е	0,3	10Е+Д	3900	2,2
27	С.пр-тр.	235	8С1Е1Олч	0,7	10Е+Бп,Бб,Олч	0,3	10Е+Бп	3610	2,5

28	С.пр-тр.	235	4С3Е3Олч	0,5	5Е5Олч	0,4	8Е2Олч	3770	0,5
29	С.баг.	190	10С	0,5	10Бб	+	4Бб3Бп2Е+Д	3620	не изм.
30	С.ос.	75	10С+Бб	0,2	10Бб	0,1			не изм.
31	С.ос.	85	10С	0,2	9Бб1Олч	0,3	5Бп4Е1Бб	1260	не изм.
32	С.баг.	255	10С	0,6	10Бп	+	5Е4Бп1Д+С	1230	не изм.
33	С.баг.	235	10С	0,6	нет	нет	9Бп1Е+С	1770	не изм.
34	С.дм.	220	10С	0,7	нет	нет	9Бп1Д	390	не изм.
35	С.баг.	220	10С	0,6	нет	нет			не изм.
36	С.чер.	195	10С	0,4	7Бп3Е	0,1	7Е2Бп1Бб	720	не изм.
37	С.дм.	195	10С	0,6	9Бп1Е	0,1	8Е1С1Бп	790	не изм.
38	С.чер.	215	10С	0,5	10С	0,1	8Бп1С1Е	990	не изм.
39	С.ос-сф.	205	8С2Бп	0,6	10С	0,2	7Е3Бп	300	не изм.
40	С.баг.	200	10С	0,7	10С	+	8Бп2Бб	2140	0,5
41	С.дм.	170	10С+Бб	0,6	10Бб	0,1	5Бп2Бб3Е	1070	0,5
42	С.баг.	230	10С	0,7	нет	нет	5Бб4Бп1Е	2080	1,3
43	С.ос.	80	7С3Бп+Олч	0,6	нет	нет	9Бп1Бб1Е	3340	0,8
44	С.баг.	200	9С1Бп	0,4	9Бп1Е	0,2	6Е2С2Бп	1140	0,7
45	С.баг.	220	10С	0,6	нет	нет			2,0
46	С.баг.	155	10С	0,7	нет	нет			1,0
47	С.баг.	225	10С	0,7	нет	нет	4Бб3С2Д1Е	920	0,5
48	С.баг.	145	10С	0,6	нет	нет			0,8
49	С.дм.	205	10С+Бп	0,5	10Бп	0,1	9Бп1Бб+Е	1490	0,3
50	С.дм.	90	10С+Бб	0,4	9Бб1С	+	4Бп4Бб2Д	1810	0,6
51	С.дм.	150	10С	0,3	10Бп	0,1	4Е3Бп1Олч1Д+С,Бб	8460	0,3
52	С.пр-тр.	170	9С1Е+Бп, Олч	0,6	8Е1Олч1Бп	0,5	10Е+Бп	5400	2,0
52а	С.пр-тр.	165	9С1Е+Бп, Олч	0,6	8Е1Олч1Бп	0,5	10Е+Бп	5400	2,0
53	С.пр-тр.	185	5С1Е4Олч	0,7	7Е3Олч	0,3	9Е1Олч	3460	1,5
54	С.пр-тр.	200	7С2Е1Олч	0,6	10Е	0,2	4Кл3Г1Д+Олч	7240	1,6
ППП41	С.ос-сф.	210	10С+Е,Бп,Олч	1,5	нет	нет	7Бп3Е+Дч,С	6200	> 1,1
ППП46	С.баг.	215	10С	0,7	9Б1С+Е	0,2	6Бп4Е+Дч,С	3000	> 0,5
ППП48	С.баг.	265	10С	0,6	6С3Бп1Е	0,2	6Бп2С1Д1Е+Ос	8000	> 0,5
ППП52	Б.ос.	205	10Б	0,1	нет	нет	10Бп+С	7600	не изм.

У 20–25 деревьев на каждой ППП отобраны керны древесины для дендрохронологического анализа. Керны отбирались на высоте 0,5–0,8 м по два у каждого дерева.

На ВПУ выполнены геоботанические описания с разбивкой видов растений по ярусам и определением их проективного покрытия. Оценка изменения экологических условий проведена с использованием фитоиндикационных шкал Элленберга [7].

У 5-ти средних деревьев на ВПУ отбирались керны древесины для дендрохронологического анализа. Всего (на ВПУ и ППП) образцы древесины отобраны у 330 деревьев.

Для каждого дерева из двух измеренных кернов получали усредненный ряд. Перекрестное датирование, выявление ложных и выпавших колец проведено с использованием кросскорреляционного анализа [8].

Для оценки взаимосвязи между хронологиями из разных местообитаний использовались коэффициент синхронности [9] и t-критерий [10]. Для количественной характеристики годичных колебаний прироста использован коэффициент чувствительности [11].

Впервые в дендрохронологических исследованиях на территории Беларуси для стандартизации был использован метод региональных кривых RCS (Regional Curve Standardization), предложенный в [12]. Особенность метода в том, что он позволяет сохранять долгопериодические колебания в приросте и сравнивать прирост деревьев разного возраста.

После измерения и верификации серий годичных колец все они были выравнены по их биологическому возрасту для каждой из пяти групп типов леса: сосняки долгомошные, багульниковые, осоково-сфагновые, осоковые и приручейно-травяные. Стандартизация среднего прироста для каждой группы выполнена функцией Хагершофа. Затем каждая индивидуальная серия годичных колец индексировалась относительно соответствующей кривой и полученные таким образом индексы снова выравнивались относительно календарного года. Усреднением индексов для каждой группы получали хронологию для каждого типа леса.

Для анализа климатических данных в реперные годы использованы материалы метеорологических станций «Пружаны» и «Волковыск».

Перекрестное датирование отдельных серий годичных колец и древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) выполнено в программе COFECHA 6.06P [13], с визуальной проверкой по графикам, построенным в программном пакете Microsoft Excel. Расчеты кривых для элиминирования возрастных трендов, индексов прироста и авторегрессионное моделирование выполнены в программе ARSTAN40c [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Климат

С 1945 по 2014 годы среднегодовое количество осадков на территории Беловежской пущи сохраняется без изменений – около 600 мм (рис. 2). Однако, в период 1990-2010 гг. почти в два раза по сравнению

с 1945–60 гг. снизилась амплитуда их колебаний. Одновременно с 1990 г. наблюдается рост среднегодовых температур воздуха в среднем на 1,1°. Кроме того, отмечается резкое снижение количества осадков в 2014–2015 гг. при одновременном росте температур воздуха в эти годы, что привело к существенному дефициту влаги почве в вегетационные сезоны 2015–2016 гг.

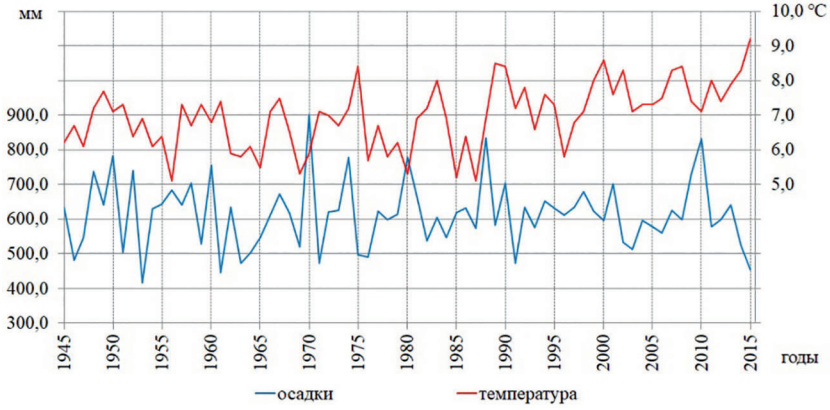


Рис. 2. Динамика годовой суммы осадков и среднегодовой температуры воздуха (по метеостанциям «Пружаны», «Волковыск»)

Fig 2. Dynamics of the annual amount of precipitation and the average annual air temperature (meteorological stations “Pruzhany” and “Volkovysk”)

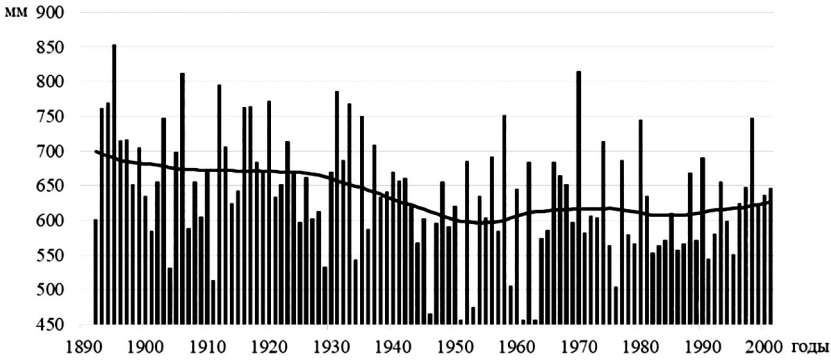


Рис. 3. Изменение годовой суммы осадков в южной части Беларуси [14]

Fig. 3. Change in annual precipitation in the southern part of Belarus [14]

Для этих метеостанций отсутствуют более продолжительные ряды метеорологических наблюдений, что не позволяет прямо оценить условия произрастания деревьев в более ранние периоды. Однако, усредненные данные, приведенные в публикации [14], показывают существенные изменения в режиме осадков, произошедшие в первой половине XX века в южной части Беларуси (рис. 3).

Хорошо видно резкое сокращение годовой суммы осадков в среднем с 675 мм за период 1880-1935 гг. до 600 мм с 1940 года. Т. е. количество осадков на протяжении конца XIX – первой половины XX вв. было устойчиво выше более чем на 10 % по сравнению со второй половиной XX века. В динамике среднегодовых температур воздуха до 1990-х годов существенных изменений не происходило.

Динамика уровня грунтовых вод

Самое серьезное изменение гидрологический режим Беловежской пущи претерпел в 1950–1980 гг., когда на прилегающих землях и на территории самой пущи были проведены крупномасштабные осушительные работы [15]. В этот период были спрямлены русла и осушены верховья рек. Снижение уровня грунтовых вод для территории Беловежской пущи к 1980-м годам составило в среднем 0,4–0,8 м, а на отдельных участках до 2,0 м. Наиболее сильное снижение УГВ произошло в 1963–1967 гг. [5], а в некоторых скважинах – в 1980–1982 гг. и с тех пор этот показатель достаточно стабилен на новом уровне.

Таким образом, для Беловежской пущи можно выделить несколько периодов с разным режимом увлажнения: I – 1880–1940-е годы – влажный и достаточно прохладный; II – 1940–1950-е – количество осадков ниже климатической нормы, но температуры близки к климатической норме; III – 1950–1980-е – массовая осушительная мелиорации на фоне незначительного увеличения количества осадков (резкое устойчивое падение УГВ в конце периода); IV – 1990 год-настоящее время – потепление климата при сохранении количества осадков на уровне климатической нормы.

Динамика состава и структуры древостоев на ППП

ППП 41. Расположена в сосняке осоково-сфагновом в верховьях р. Соломенка. Максимальный возраст деревьев – 210 лет. На момент закладки пробной площади насаждение было одноярусным чистым по составу с единичными деревьями ели, березы пушистой и ольхи черной. В распределениях деревьев по ступеням толщины за прошедшие годы не произошло существенных изменений за исключением сдвига в сторону более толстых ступеней (рис. 4). С 2009 года в составе древостоя в нижних ступенях толщины появилась ель, которая в настоящее время формирует очень разреженный второй ярус древостоя. Её выход в состав древостоя в большом количестве (116 шт/га) свидетельствует об изменений условий произрастания в сторону осушения, точно также как и резкий рост абсолютной полноты древостоя (с 33,8 до 48,1 м^2/га).

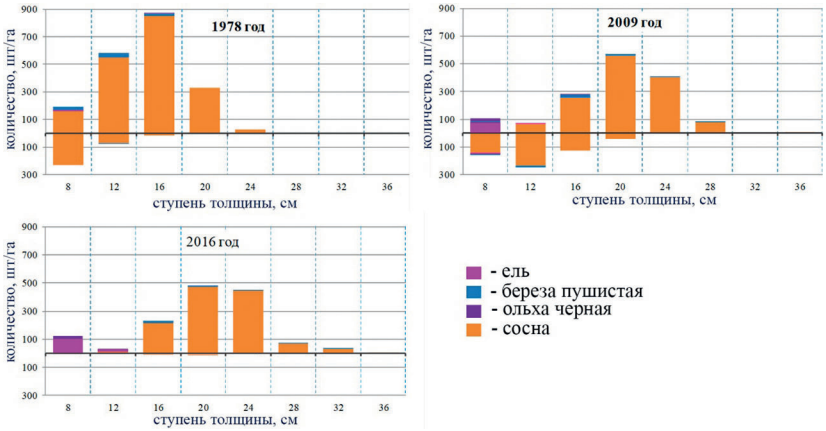


Рис. 4. Распределение деревьев на ППП № 41 по ступеням толщины (положительные значения – живая часть древостоя, отрицательные – сухостой)

Fig. 4. Distribution of trees on PTP No. 41 by trunk diameters (positive values – living trees, negative – dead trees)

В составе подроста (6,2 тыс. шт/га) доминируют береза пушистая и ель, встречаются единичные особи сосны и дуба (состав 7Бп3Е+Д,С).

ППП 46. Тип леса – сосняк багульниковый. Древостой монодоминантный (10С) со вторым ярусом, в котором преобладает береза пушистая при небольшом участии ели и сосны. Возраст наиболее старых деревьев сосны – 215 лет. На момент закладки ППП береза и ель в составе древостоя отсутствовали. Их появление приходится на момент интенсивного отпада деревьев первого яруса в период 1979–1994 гг., который вероятнее всего связан с изменением гидрологического режима, а выход в состав второго яруса – с 2009 года (рис. 5). В составе подроста (3,0 тыс. шт/га) доминируют береза пушистая и ель, встречаются единичные особи сосны и дуба (состав 6Бп4Е+Д,С).

ППП 48. Расположена вблизи вдхр. Ляцкие в сосняке багульниковом. Гидрологический режим участка тесно связан с режимом водохранилища, а также состоянием водопропускных сооружений на дороге к востоку от насаждения. В результате деятельности бобров в последние годы, ложбина стока, проходящая к югу от насаждения, оказалась затопленной. Это привело и к подтоплению исследуемого насаждения. На момент закладки насаждение было монодоминантным (10С). Максимальный возраст деревьев – 265 лет. В распределении деревьев по ступеням толщины в 1979 г. чётко видно два пика (12 см и 28 см), которые соответствуют двум возрастным поколениям сосны 100 и 265 лет. Наибольший отпад в древостое наблюдался в течение 1979–1994 годов, после которого начал формироваться второй ярус из березы пушистой и ели (рис. 6). За 36 лет средний диаметр деревьев сосны увеличился на 50 %, а абсолютная полнота –

всего на 5 %, что связано с отпадом деревьев сосны не только в низших, но и в высших ступенях толщины. В составе подроста (8,0 тыс. шт/га) доминируют береза пушистая и сосна, встречаются единичные особи ели, дуба и осины (состав 6Б2С1Дч1Е+Ос).

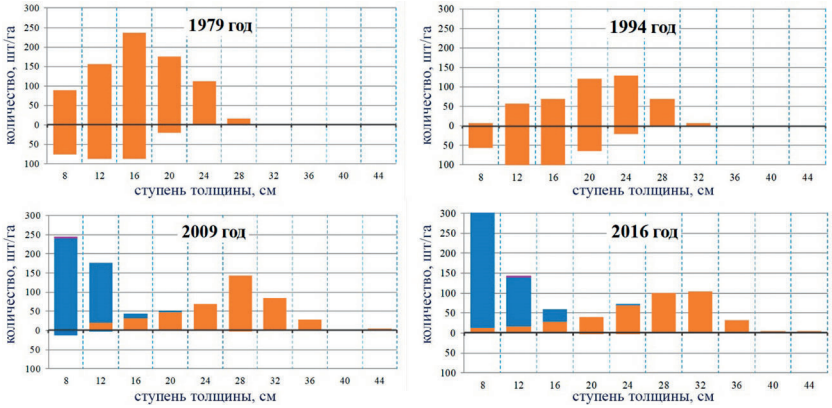


Рис. 5. Распределение деревьев на ППП №46 по ступеням толщины (обозначения те же, что на рис. 4)
Fig. 5. Distribution of trees on PTP No. 46 by trunk diameters (legend are the same as in fig. 4)

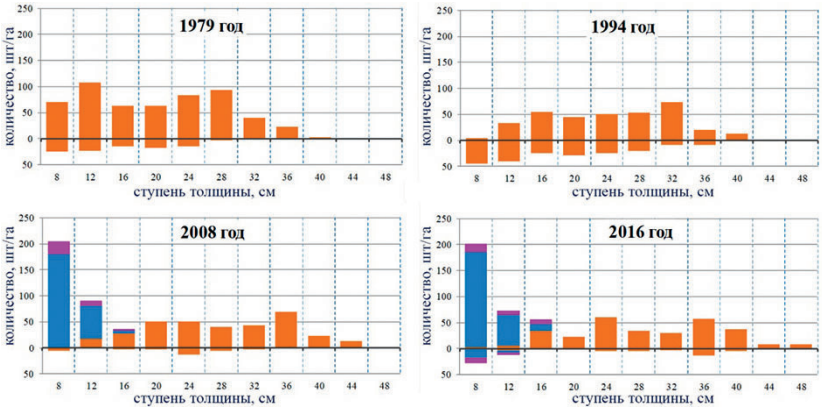


Рис. 6. Распределение деревьев на ППП № 48 по ступеням толщины (обозначения те же, что на рис. 4)

Fig. 6. Distribution of trees on PTP No. 48 by trunk diameters (legend are the same as in fig. 4)

ППП 52С. Расположена в зоне влияния прудов Плянта в бывшем сосняке осоковом. Возраст деревьев сосны составляет 205 лет. Каскад прудов был создан в 1970-х годах. В 2006–2007 гг. выше уже существовавших прудов были построены дополнительные пруды. Однако отсутствие ухода за связующими каналами привело к затоплению прилегающей территории и гибели ранее осушенных насаждений, в том числе и на объекте исследования. За время исследований лесотипологический статус фитоценоза постоянно менялся. На момент закладки пробной площади насаждение было монодоминантным (10С) с единичными деревьями березы пушистой в низших ступенях толщины. К 2008 году средний диаметр резко вырос (почти на 50 %), а абсолютная полнота осталась без изменений. К 2016 году древостой сосны полностью погиб, сохранились только молодые деревья березы пушистой (рис. 7).

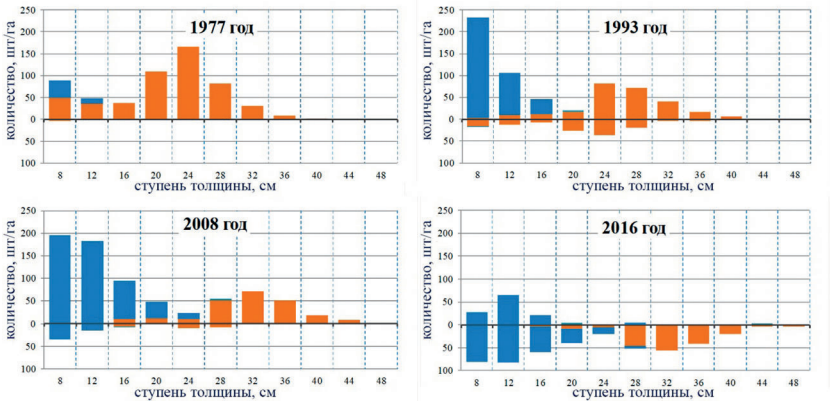


Рис. 7. Распределение деревьев на ППП № 52 по ступеням толщины (обозначения те же, что на рис. 4)

Fig. 7. Distribution of trees on PTP No. 52 by trunk diameters (legend are the same as in fig. 4)

Наиболее бурный рост березы пушистой пришелся на 1983–1993 гг., когда количество деревьев увеличилось с 46 до 364 шт/га. Затопление территории привело к гибели всех деревьев сосны и, частично, березы. В настоящее время сохранились только деревья второго яруса (122 шт/га). В то же время на пробной площади большое количество подроста березы пушистой – 7600 шт/га. При сохранении нынешнего режима увлажнения здесь будет идти восстановление чистого пушистоберезового насаждения.

В динамике состава и структуры всех исследованных насаждений хорошо прослеживается период резкого изменения условий произрастания в 1980-х годах. На момент закладки пробных площадей сразу после периода осушения насаждения сохраняли состав и структуру, характерные для неосушенных лесов. Это были чистые одноярусные сосновые насаждения высокого возраста (170–230 лет). В настоящее время – это двухъ-

ярусные насаждения с доминированием сосны в первом ярусе и березы пушистой во втором, чему способствовало интенсивное осушение территории. При сохранении существующего гидрологического режима динамика древостоев будет направлена на формирование смешанных пушистоберезово-сосновых древостоев, а в последствие – пушистоберезовых.

Изменения в структуре травяно-кустарничкового и мохового ярусов

ППП 41. Изначально сообщество характеризовалось как сосняк осоково-сфагновый. Однако за время наблюдений уменьшилось как количество видов, так и их общее проективное покрытие. Значительно сократилось обилие *Calamagrostis canescens*, *Lysimachia vulgaris*, *Carex nigra*, *Menyanthes trifoliata* на фоне увеличения проективного покрытия черники *Vaccinium myrtillus*. Произошедшие изменения в видовом составе указывают на его трансформацию в направлении сосняка долгомошного (табл. 2): снизился балл увлажнения и увеличился кислотности. Вероятнее всего, это связано с общим снижением уровня грунтовых вод и увеличением доли ели в древостое. Эти же изменения подтверждает и трансформация, произошедшая в структуре древостоя.

ППП №46. На момент закладки ППП насаждение относилось к сосняку багульниковому. За прошедшее время в фитоценозе значительно увеличилось обилие *Vaccinium myrtillus* на фоне резкого снижения проективного покрытия сфагновых мхов. Это указывает на снижение уровня грунтовых воды, что демонстрируют результаты фитоиндикации (табл. 2): балл увлажнения снизился с 6,6 до 6,1. Такие процессы являются типичными для осушаемых заболоченных территорий. При недостатке влаги покров сфагновых мхов распадается, а при минерализации верхнего слоя торфа в сосняках багульниковых происходит разрастание *Vaccinium myrtillus* на фоне снижения обилия *Ledum palustre*. В результате, осушенные олиготрофные сосняки приобретают облик сосняков черничных при глубине торфяной залежи 50–150 см.

ППП №48. На момент закладки ППП насаждение относилось к сосняку багульниковому. За период 1979-1996 гг. в пределах ППП значительных изменений в видовом составе не отмечено. Однако, происходило заметное изменение проективного покрытия отдельных кустарничков и трав, которое может быть обусловлено резким колебанием уровня грунтовых вод, из-за регулирования уровня воды в соседнем водохранилище. К 1987 г. увеличилось обилие *Eriophorum vaginatum* на фоне резкого снижения проективного покрытия *Vaccinium uliginosum*. По результатам же последнего наблюдения в насаждении произошло значительное подтопление (балл увлажнения увеличился с 7,1 до 8,3) со снижением кислотности (с 1,1 до 2,1). Резко увеличилось обилие *Eriophorum vaginatum*, деградировал покров из сфагновых мхов и отмечен ряд гигрофильных видов, не свойственных олиготрофным сообществам: *Calamagrostis canescens*, *Carex nigra*, *C.canescens*, *Lysimachia vulgaris*, *Lycopus europaeus*, *Thelypteris palustris*, *Urtica dioica*. Связано это с поступлением воды из водохранилища, прошедшей через черноольшанники.

Таблица 2. Фитоиндикационная характеристика насаждений на ППП

Table 2. Phytoindication characteristics of the plant communities on PTP

Показатель Indicator	ППП №41 PTP No41		ППП №46 PTP No46		ППП №48 PTP No48				ППП №52 PTP No52							
Год Year	1981	2016	1979	2016	1979	1987	1996	2016	1981	1992	1999	2000	2001	2002	2003	2016
Освещенность (Lt)	7,3	7,0	7,5	6,0	7,2	7,6	6,8	6,9	7,2	6,8	6,2	6,2	6,0	5,8	5,7	6,9
Температурный режим (T)	3,7	3,1	3,1	3,1	3,2	3,3	3,5	3,1	3,5	3,1	3,1	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2
Континентальность климата (K)	5,5	5,7	5,7	5,6	5,5	5,9	5,9	5,6	5,2	5,7	5,6	5,6	5,5	5,5	5,4	5,7
Увлажнение (M)	7,2	6,7	6,6	6,1	6,4	7,1	7,1	8,3	7,1	6,6	5,6	5,5	5,4	5,1	5,0	8,4
Кислотность (Rc)	2,2	1,5	1,2	2,0	1,1	1,3	1,4	2,1	1,5	1,4	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,0
Богатство почвы (Nt)	2,7	2,5	2,1	2,5	2,3	2,0	2,21	2,2	2,1	2,4	2,6	2,7	2,7	2,8	2,9	2,3

ППП №52 расположена в сосняке осоковом. За период 1981-2003 гг. в пределах пробной площади выявлена тенденция к уменьшению увлажнения местообитания (табл. 2). Происходило постепенное снижение обилия болотных видов травянистых растений (*Eriophorum vaginatum*, *Oxycoccus palustris*, *Vaccinium uliginosum*) и сфагновых мхов на фоне увеличения проективного покрытия *Vaccinium myrtillus* и *Pleurozium schreberi*. Катастрофические изменения произошли в фитоценозе в последнее десятилетие. В 2016 году отмечена деградация фитоценоза в связи с резким подтоплением, повлекшим за собой распад древостоя. По режиму увлажнения в соответствии с индикационной шкалой Элленберга сообщество не только вернулось в исходную точку (1981 г.), но и стало гораздо более мокрым (балл 8,4).

В динамике живого напочвенного покрова, как и в динамике древостоев хорошо прослеживается период резкого изменения условий произрастания в 1980-х годах. На одних участках произошло уменьшение увлажнения, на других (расположенных у водохранилищ) – наоборот, увеличение увлажнения. В последние годы наблюдается даже затопление участков в результате деятельности бобров.

Особенности динамики радиального прироста деревьев сосны

Для анализа динамики радиального прироста все фитоценозы были объединены в пять групп. Критериями для деления послужили: характер возрастных кривых, абсолютная величина радиального прироста, амплитуда колебаний прироста. В спорных случаях при отнесении к одной или другой группе учитывалась глубина торфяной залежи, положение в рельефе и нынешний фитоценотический статус сообщества. Всего выделено пять групп:

– POL – сосняки долгомошные (ВПУ № 5, 14, 18, 34, 37, 41, 49–51) – отличаются наибольшим абсолютным приростом на протяжении всей жизни деревьев, средняя амплитуда колебаний прироста;

2 – LED – сосняки багульниковые (ППП 46С, 48С, ВПУ № 1, 7–10, 13, 15, 17, 19, 20–23, 25, 29, 32, 33, 35, 40, 42, 44–48) – отличаются средним приростом на протяжении всей жизни деревьев, средняя амплитуда колебаний прироста, отсутствуют резкие кратковременные снижения в приросте;

3 – CARSPH – сосняки осоково-сфагновые (ППП 41С, ВПУ № 4, 12, 16, 24, 39) – отличаются наименьшим приростом на протяжении всей жизни деревьев, низкая амплитуда колебаний;

4 – CAR – сосняки осоковые (ППП 52С, ВПУ № 2, 3, 6, 11, 30, 31, 43) – отличаются наибольшим абсолютным приростом на протяжении всей жизни деревьев (сравним с сосняками долгомошными), но очень высокая амплитуда колебаний прироста;

5 – FON – сосняки приручейно-травяные (ВПУ № 26–28, 52–54) – отличаются невысоким приростом и очень низкой амплитудой колебаний.

По абсолютной величине радиального прироста к 220 годам все деревья собираются в две группы (рис. 8): первая – это сосняки долгомошные, осоковые и багульниковые (средний радиальный прирост составляет 0,8 мм в год) и вторая – сосняки осоково-сфагновые и приручейно-травяные (0,5 мм в год).

В начальный период жизни наибольшей скоростью роста отличаются деревья сосны в осоковом типе леса (прирост до 3 мм в год), что вызвано богатыми почвами и развитием деревьев на высоких кочках. Однако, с развитием корневых систем и необходимостью большей площади питания прирост резко снижается и увеличивается его флуктуация.

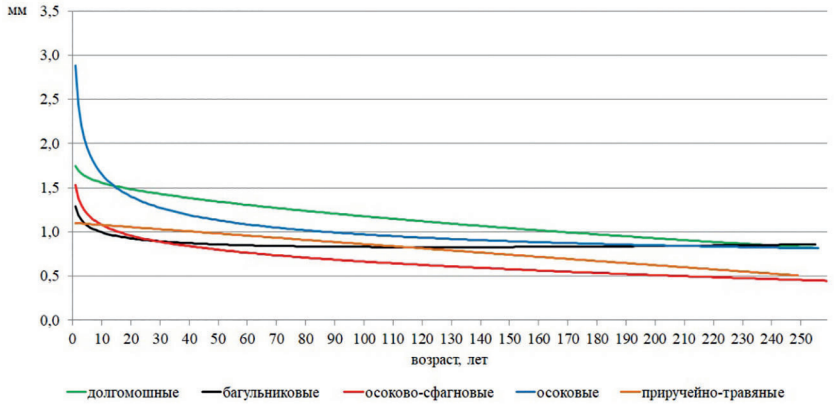


Рис. 8. Возрастные кривые радиального прироста по типам леса

Fig. 8. Age curves of tree rings by types of forests types

Анализ динамики радиального прироста выполнен для последних 205 лет (1810–2015 гг.), поскольку только для этого периода в каждой группе присутствует не менее 3 объектов (табл. 3).

Отличительной особенностью всех стандартизированных ДКХ являются высокие коэффициент чувствительности (за исключением сосняков приручейно-травяных) и автокорреляция первого порядка (0,81–0,91). Первый связан с тем, что на болотах высокая амплитуда колебаний прироста (максимальная чувствительность у сосняков долгомошных и осоковых) – от сотых долей до нескольких миллиметров. Высокая автокорреляция обусловлена тем, что при резких годовых отклонениях климатических факторов торфяная залежь сглаживает их как негативное, так и позитивное воздействие. Эта особенность обуславливает сложное использование радиального прироста деревьев, растущих на болотах для погодичных реконструкций климатических факторов. Она же представляет прекрасный инструмент для реконструкции колебаний климата с периодом от нескольких до сотен лет.

Таблица 3. Краткая характеристика древесно-кольцевых хронологий
Table 3. Characteristics of tree-ring chronologies

Хронология Chronology	Количество деревьев, шт Number of trees	Диапазон, лет Range, years	Тип хронологии Chronology type	Коэф. чувствительности Sensitivity	Среднеквадратическое отклонение Standard deviation	Автокорреляция первого порядка Autocorrelation of first order	Доли дисперсии объяснённые AR-моделью, % Variance explained by the AR model, %
POL	43	1810–2015	std	0,351	0,511	0,815	66,38
			res	0,324	0,295	–	–
LED	164	1810–2015	std	0,235	0,480	0,857	73,50
			res	0,263	0,247	–	–
CARSPH	44	1810–2015	std	0,224	0,481	0,843	71,02
			res	0,265	0,254	–	–
CAR	49	1810–2015	std	0,268	0,514	0,806	64,91
			res	0,296	0,299	–	–
FON	30	1810–2015	std	0,159	0,452	0,912	83,18
			res	0,186	0,185	–	–

Парная корреляция между ДКХ очень высокая – от 0,75 до 0,93, подтверждающая, что в динамике прироста всех заболоченных сосновых лесов выступают одни и те же факторы. Наибольшей схожестью в приросте отличаются сосняки багульниковые, долгомошные и осоково-сфагновые, наименьшей – сосняки осоковые (наиболее проточные и с изменчивым режимом увлажнения) с остальными типами леса.

В динамике прироста за последние 205 лет можно выделить несколько периодов, характерных для всех типов леса (рис. 9).

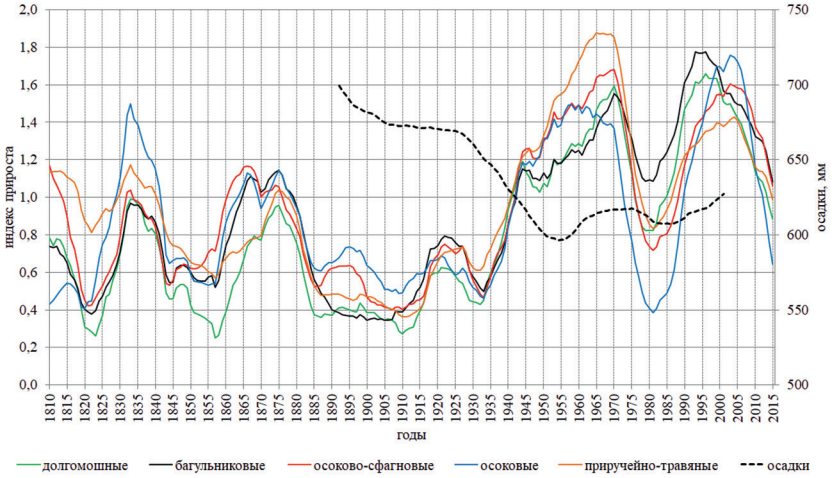


Рис. 9. Стандартные ДКХ по типам леса и динамика осадков по [14], сглаженные 11-летним скользящим средним

Fig. 9. Standard TRC by forest type and dynamics of precipitation according to [14], smoothed by 11-year moving average

До 1880 года болотные леса развивались в условиях умеренного увлажнения территории с непродолжительными периодами снижения/увеличения количества осадков, что приводило к высокой амплитуде прироста и резким изменениям прироста по годам. В приросте хорошо прослеживаются циклы с периодом 10–15 лет. Средний индекс прироста составляет от 0,64 в багульниковых до 0,90 в приручейно-травяных сосняках, дисперсия – от 0,09 в сосняках приручейно-травяных до 0,27 в сосняках осоковых.

Депрессия прироста, начавшаяся с 1882 года и на протяжении последующих почти 60 лет, согласуется с устойчиво высоким количеством осадков в южных регионах Беларуси. О том, что именно повышенное количество осадков вызвало продолжительную депрессию прироста, свидетельствует непродолжительное снижение количества осадков в 1920-х годах

и последовавшее за этим увеличение прироста в это же время. Средний индекс прироста составлял от 0,43 в сосняках багульниковых до 0,59 в сосняках осоковых, дисперсия сократилась в 2–5 раз (до 0,03–0,05). Ширина годичных колец характерна для сосняков сфагновых, которые в настоящее время не встречаются на территории Беловежской пущи. Они трансформировались в багульниковые и частично осоково-сфагновые типы леса. О том, что такие переходы имеют место, свидетельствуют результаты анализа динамики древостоев на ППП.

Увеличение прироста с 1939 года связано с резким уменьшением количества осадков до 600 мм. Т. е. фитоценотический облик заболоченных сосновых лесов стал меняться в сторону менее увлажненных типов леса за 15–20 лет до начала массового осушения. Еще в 1950–1952 гг. повышенное количество осадков привело к временному снижению прироста, т. е. до этого периода гидрологический режим заболоченных сосновых лесов оставался естественным. Средний индекс прироста в период 1939–1970 гг. составляет от 1,23 в сосняках багульниковых до 1,55 в сосняках приручейно-травяных, дисперсия – от 0,13 (сосняки багульниковые) до 0,22 (сосняки долгомошные).

С 1892 до 1952 года между шириной годичных колец и осадками существовала очень высокая достоверная отрицательная корреляция (–0,79), рассчитанная по сглаженным 11-ти летним средним, что согласуется с естественным гидрологическим режимом болотных лесов. В 1950-х годах начались основные работы по осушительной мелиорации. Провал прироста у деревьев сосны в 1960-1964 гг. связан уже не с избытком, а с недостатком осадков. Тенденция снижения прироста в периоды недостатка осадков сохранилась и до настоящего времени (наиболее характерны 2011–2015 гг.).

С 1953 по 2001 год корреляция между радиальным приростом и суммой осадков составила 0,48, что свидетельствует о резком изменении гидрологического режима. Такая реакция на изменение осадков характерна для суходольных сосновых лесов, а не болотных. В то же время сильная депрессия прироста в 1971–1987 годах отсутствует в хронологиях суходольных сосновых лесов и не согласуется с режимом осадков в этот период [15].

Таким образом, степень трансформации естественных болотных экосистем в результате осушительной мелиорации можно оценить как разность индексов прироста за период депрессии 1971–1987 гг. к предшествующему периоду до начала осушительной мелиорации 1939–1950 гг. (рис. 10).

Наиболее сильной трансформации подверглись насаждения заболоченных сосновых лесов, расположенные в непосредственной близости от канализированных водотоков или осушительных систем. В северной части пущи – это участки вблизи р. Нарев, заболоченный массив на границе с болотом Дикое. В южной части – лесоболотные экосистемы в верховьях р. Соломенка и между д. Ясень и Мыльниск, а также отдельные участки в окрестностях д. Каменюки в долине р. Лесная.

В целом наибольшей трансформации подверглись сосняки осоковые (снижение прироста –0,57) и осоково-сфагновые (–0,32), поскольку на этих участках флуктуации гидрологического режима проявляются быстрее. Меньше всего затронутыми оказались сосняки багульниковые, которые в Беловежской пуще находятся на значительном удалении от осушительных сетей и водотоков.

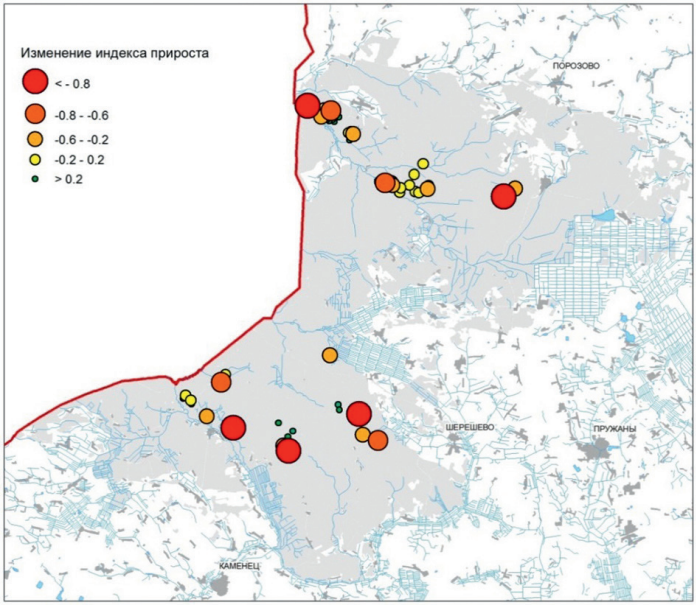


Рис. 10. Степень трансформации фитоценозов заболоченных сосновых лесов в результате осушительной мелиорации (изменение индекса прироста в 1971–1987 гг. по отношению к 1939–1950 гг.)

Fig. 10. The intensity of transformation of phytocenoses of boggy pine forests as a result of drainage (change in the growth index in 1971–1987 relative to 1939–1950)

Влияние климатических факторов на динамику радиального прироста в период интенсивной трансформации экосистем

Для анализа влияния климатических факторов на радиальный прирост деревьев были разработаны корреляционные функции и функции отклика. В качестве независимых переменных использованы месячные суммы осадков и среднемесячные температуры воздуха за период 1945–2015 гг. В качестве зависимой переменной использованы индексы стандартизированных древесно-кольцевых мастер-хронологий по типам леса (рис. 11).

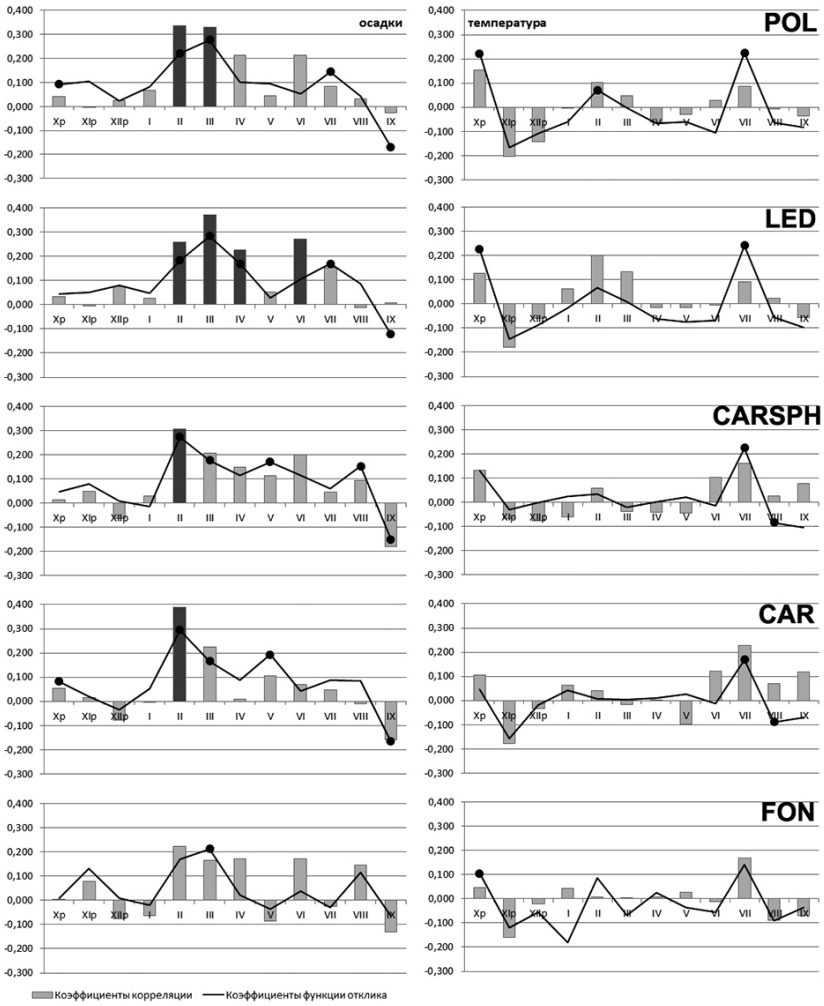


Рис. 11. Коэффициенты корреляции и функции отклика радиального прироста деревьев сосны с месячными суммами осадков и среднемесячными температурами воздуха. Значения, достоверные при $p < 0.05$ выделены темным цветом и маркерами

Fig. 11. Correlation and response functions coefficients of tree rings with monthly precipitation and average monthly air temperatures. Significant values at $p < 0.05$ are highlighted with dark color and markers

Для всех типов леса характерно сильное влияние осадков при очень низкой значимости температур воздуха. Причем реакция на осадки во многом схожа с аналогичной у деревьев из суходольных типов леса.

Прирост деревьев сосны во всех исследованных типах леса положительно связан в первую очередь с количеством осадков в феврале и марте, а в сосняках багульниковых и апреля. В это время идет формирование запаса влаги в торфе, который в последующие месяцы смягчает влияние засух и благоприятствует устойчивому росту деревьев. К середине лета накопленная в торфе влага заканчивается и тогда дополнительным фактором, лимитирующим прирост, выступают осадки июля (сосняки долгомошные и багульниковые) или августа (сосняки осоково-сфагновые).

Во всех хронологиях в функциях отклика значимыми для формирования прироста являются температуры октября предыдущего года (сосняки багульниковые, долгомошные и приручейно-травяные) и температуры июля текущего года (все типы леса). Однако их положительное влияние должно реализовываться одновременно с увеличением количества осадков.

Схожие тенденции характерны для суходольных сосновых лесов на территории Беловежской пущи. Однако, поскольку они формируются не на торфяной залежи, накапливающей и удерживающей воду, в них прослеживается гораздо более тесная связь с осадками летних месяцев.

Таким образом, тесная положительная корреляция прироста заболоченных сосновых лесов с осадками зимних и весенних месяцев может свидетельствовать о нарушении гидрологического режима территории.

Возможные сценарии развития экосистем болотных и заболоченных сосновых лесов Беловежской пущи

К настоящему времени на территории Беловежской пущи из-за изменения климатических условий и массового осушения полностью исчезли сосняки сфагновые – наиболее обводненные со слабой проточностью сообщества на глубоких торфах. Все они трансформировались в сосняки багульниковые или осоково-сфагновые. Пик развития таких фитоценозов в Беловежской пуще приходился на 1880–1940-е годы. Т. е. на протяжении последних 200 лет фитоценозы заболоченных сосновых лесов неоднократно меняли свой лесотипологический статус даже без влияния человека.

В естественных условиях (без учета осушительной мелиорации) трансформация заболоченных сосновых лесов в сторону сосняков сфагновых может наступить при устойчивом увеличении годового количества осадков до 700 мм. Это можно ожидать на участках сосняков багульниковых и осоково-сфагновых удаленных от водотоков и осушительных сетей. Однако поскольку прогнозы изменения климата показывают лишь незначительное увеличение количества осадков, то такой сценарий маловероятен.

Поэтому такие экосистемы будут продолжать медленно трансформироваться в сторону суходольных типов леса. В экосистемах, где наиболее сильно проявилось влияние осушительной мелиорации, совпавшее с климатическим

снижением увлажнения территории, процессы, трансформации будут наиболее быстрые.

Нынешние сосняки багульниковые трансформируются в смешанные березово-елово-сосновые леса черничного или долгомошного типа. Долгомошные перейдут в черничные. Сосняки осоково-сфагновые трансформируются в сосново-березовые леса близкие к долгомошному типу.

Сосняки приручейно-травяные по мере достижения сосной максимального возраста и последующего ее отпада, перейдут в смешанные еловочерноольховые леса. Причем это произойдет в ближайшие 50–100 лет.

Разнонаправленная динамика характерна для сосняков осоковых. В условиях интенсивного осушения они трансформируются в смешанные березово-сосновые леса долгомошного типа. Однако отдельные участки, примыкающие к водотокам, затапливаются в результате деятельности бобров, что приводит к полной гибели древостоев и формированию березового редколесья или ивовых зарослей. Это надо учитывать при планировании работ по восстановлению гидрологического режима.

Заключение. Динамика состава, структуры и продуктивности заболоченных сосновых лесов на территории Беловежской пущи определяется режимом увлажнения территории, который за последнее столетие претерпел серьезные изменения сначала в результате уменьшения количества атмосферных осадков (в конце 1930-х годов), а затем – в результате масштабной осушительной мелиорации. Проведенные исследования позволили выявить основные тенденции в формировании заболоченных сосновых лесов и перспективы их развития.

Практически все фитоценозы болотных и заболоченных сосновых лесов на территории Беловежской пущи можно рассматривать как мелиоративно-производные, за исключением нескольких участков сосняков багульниковых, удаленных от водотоков и осушительных сетей. Их трансформация в сторону более сухих типов леса началась за 10–20 лет до начала масштабной осушительной мелиорации и связана с устойчивым снижением годового количества осадков в южных регионах Беларуси с начала 1940-х годов.

Эффекты массовой осушительной мелиорации, проведенной в 1950–1970 гг. как в Беловежской пуще, так и её периферии, наложились на климатическое снижение увлажнения территории и привели к переосушению территории и ускорению трансформации типологической структуры насаждений. Резко ухудшилось состояние древостоев болотных и заболоченных сосновых лесов, катастрофически снизился радиальный прирост и вырос отпад деревьев в 1971–1987 гг., интенсифицировались изменения состава и структуры древостоев (начало формирования в монодоминантных сосновых насаждениях второго яруса из березы пушистой и ели). Наиболее сильной трансформации подверглись насаждения заболоченных сосновых лесов, расположенные в непосредственной близости от канализированных водотоков или осушительных систем.

Для всех типов болотных и заболоченных сосновых лесов установлено сильное положительное влияние осадков при очень низкой значимости температур воздуха на радиальный прирост деревьев. Он положительно связан с количеством осадков в феврале и марте, а в сосняках багульниковых и апреля. Именно в это время идет формирование запаса влаги в торфе, который в последующие месяцы смягчает влияние засух и благоприятствует устойчивому росту деревьев. К середине лета накопленная в торфе влага заканчивается и тогда дополнительным фактором лимитирующим прирост выступают осадки июля (сосняки долгомошные и багульниковые) или августа (сосняки осоково-сфагновые). В болотных лесах с естественным гидрологическим режимом увеличение количества осадков должно приводить к депрессиям в приросте деревьев, а их сокращение – к увеличению прироста, что наблюдалось до 1952 года. Поэтому тесная положительная корреляция прироста заболоченных сосновых лесов с осадками зимних и весенних месяцев свидетельствует о сильном нарушении гидрологического режима территории.

В сложившихся гидрологических и климатических условиях на территории Беловежской пущи без проведения мероприятий по восстановлению гидрологического режима фитоценозы заболоченных сосновых лесов будут продолжать трансформироваться в сторону более сухих типов леса, а в ряде случае – со сменой на березовые (осоковые, осоково-сфагновые и частично багульниковые типы леса) или черноольховые леса (приручейно-травяные сосняки).

Результаты исследования показывают, что экосистемы Беловежской пущи требуют восстановления гидрологического режима для возврата в русло естественных процессов. В то же время, при проведении работ по восстановлению гидрологического режима можно ожидать частичной гибели деревьев и насаждений в болотных и заболоченных лесах, поскольку деревья здесь достигают возраста 250 лет и обладают слабой возможностью к адаптации. Поэтому восстановление гидрологического режима необходимо проводить только по результатам оценки влияния осушенных участков на прилегающие лесные экосистемы.

Литература

1. Бамбалов, Н. Н. Характеристика болот Беловежской пущи и ее охранной зоны / Н. Н. Бамбалов, С. Г. Беленький, Л. Е. Дворак и др. в книге: Сохранение биологического разнообразия лесов Беловежской пущи. – Каменюки-Минск, 1996. – С. 131–140.

2. Maruszak H. Tendencies of the changes of climate in the last millennium. In: Starkel L. (Ed.) Geografia Polski, PWN, Warszawa. 1991. – P. 182–190.

3. Черкас, Н. Д. Динамика численности глухаря в Беловежской пуще / Н. Д. Черкас, Т. Е. Павлющик // Беловежская пуща. Исследования. Мн., 2003. – Вып.11. – С. 232–252.

4. Козулько, Г. А. Проблемы сохранения биологического разнообразия и устойчивого развития экосистем Беловежской пущи, управление биологическими ре-

сурсами / Г.А. Козулько // Материалы трансграничной конференции,27–29 июня 2000 г. – Брест, 2002. – С. 75–82.

5.Волчек, А. А. Колебания уровня режима грунтовых вод природно-территориального комплекса «Беловежская пуща» / А. А. Волчек, Н.Н. Шетко // Сб.: Беловежская пуща. Исследования. – Брест: Издательство «Альтернатива», 2009. – Вып.13. – С. 50–89.

6. Справочник таксатора / В. С. Мирошников, О. А. Трулль, В. Е. Ермаков и др., под общ. ред. В.С.Мирошникова. – 2-е изд. – Минск, Ураджай. – 1980. – 360 с.

7. Ellenberg, H. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa / E. Ellenberg, H. E. Weber, R. Dull, V. Wirth, W. Werner, D. Paulissen. – Gottingen: Verlag Erich Goltze KG, 1944. – 260 p.

8. Holmes, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement / R.L. Holmes // Tree-Ring Bull. – 1983. – № 44. – P. 69–75.

9. Huber, B. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung / B. Huber. – Holz als Roh und Werkstoff, 1943. – P. 263-268.

10. Pilcher, J. A 7,272-year tree-ring chronology for western Europe / J. Pilcher, M. Baillie, B. Schmidt, et al. // Nature. – 1984. – № 312. – P. 150–152.

11. Fritts, H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource / H. C. Fritts // Trans. Amer. Geolog. Union. – 1969. – Vol.50. – P. 22–29.

12. Briffa, K. R. Fennoscandian summers from AD 500: Temperature changes on short and long timescales / K. R. Briffa, P.D. Jones, T. S. Bartholin et al. // Climate Dynamics. – 1992. – № 7. – P. 111–119.

13. Holmes, R. L. Dendrochronology program library. Users manual / R. L. Holmes. – Tucson, Arizona, 1984. – 51 p.

14. Логинов В. Ф., Сачок Г. И., Микуцкий В. С., Мельник В. И., Коляда В. В. Изменения климата Беларуси и их последствия; под общ. ред. Логинова В. Ф.; Ин-т проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.

15. Изменение гидрографической сети Белоруссии под воздействием мелиоративных работ: справочник / ред. С. Ф. Бычук. – Мн.: Ураджай, 1986. – 320 с.

16. Ермохин, М. В. Дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной в Беларуси / М. В. Ермохин, В. В. Савельев // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 441–453.

Поступила в редакцию 13.10.2021 г.

УДК 614.4:577.472(075.83)

Е. Я. КУЛИКОВА, Г. В. ЕРМОЛЕНКОВА, К. В. ДОБЫШ,
Н. Л. ВОЗНЯЧУК, М. Л. РОМАНОВА, А. В. ПУЧИЛО

СОВРЕМЕННАЯ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ Р. ПРИПЯТЬ В УРОЧИЩАХ «ТУРОВСКИЙ ЛУГ» И «ПОГОСТ»

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: kulikova22@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается современная фитоценотическая структура пойменных лугов р. Припять в урочищах «Туровский луг» и «Погост». Дается геоботаническая характеристика основным типам лугов: видовой состав, структура и продуктивность. Приводятся карты растительности исследуемой территории после проведения мероприятий по восстановлению лугов.

Ключевые слова: пойменные луга, р. Припять, фитоценотическая структура, карта растительности, устойчивое использование лугов

E. Y. KULIKOVA, G. V. ERMOLENKOVA, K. V. DOBYSH,
N. L. VOZNYACHUK, M. L. ROMANOVA, A. V. PUCHILO

MODERN PHYTOCENOTIC STRUCTURE OF FLOODLAND GRASSLANDS OF R. PRIPYAT IN THE TRACTS «TUROVSKY MEADOW» AND «POGOST»

Annotation. The article examines the modern phytocenotic structure of the floodplain grasslands of the river Pripyat at the tracts «Turovsky meadow» and «Pogost». The geobotanical characteristics of the main types of grasslands are given: species composition, structure and productivity. The maps of vegetation of the study area after the measures for the restoration of meadows are presented.

Keywords: floodplain meadows, r. Pripyat, phytocenotic structure, vegetation map, management of meadows

Введение. В настоящее время в лесной зоне наблюдается процесс деградации лугов, приводящий к снижению биологического разнообразия и утрате природных кормовых угодий. Смена традиционного уклада жизни крестьян, ранее державших крупный рогатый скот, а также значительное уменьшение интенсивности традиционного экстенсивного землепользования – отсутствие сенокошения и недостаточная пастбищная нагрузка, приводит к исчезновению пойменных лугов.

Цель исследований – подготовка научного обоснования мероприятий по восстановлению пойменной луговой растительности урочищ «Туровский луг» и «Погост» для заготовки грубых кормов и выпаса крупного рогатого скота (КРС) мясных пород.

Для достижения поставленной цели необходимо было создать геоботанические карты исследуемых урочищ (до и после проведения мероприятий по восстановлению лугов), дать геоботаническую характеристику

и оценить современное состояние луговых фитоценозов (видовой состав, структура, продуктивность), разработать мероприятия по удалению кустарников для повышения продуктивности пастбищ и сенокосов, а также мероприятия по сенокошению и выпасу скота с учетом экологических условий основных типов пойменных лугов и интенсивности выпаса крупного рогатого скота на них.

Урочища «Туровский луг» и «Погост» расположены в пойме р. Припять в границах Житковичского района Гомельской области Республики Беларусь (рис. 1). Кроме того, урочище «Туровский луг» (участок 1) – территория биологического заказника местного значения, имеет международный статус Территории, важной для птиц «Туровское болонье» с 1998 г. Луговые пойменные сообщества являются не только природными кормовыми угодьями, но и создают оптимальные гнездовые условия для одной из самых многочисленных и уникальных группировок водно-болотных птиц Беларуси [1]. В этой связи восстановление и устойчивое использование пойменных урочищ «Туровский луг» и «Погост» является крайне актуальным.

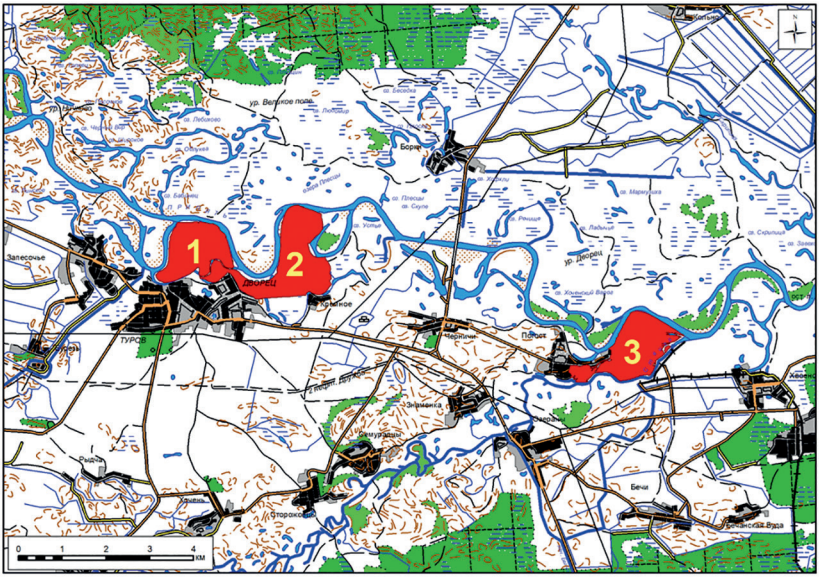


Рис. 1. Исследуемые пойменные луга урочищ «Туровский луг» (участки 1, 2) и «Погост» (участок 3)

Fig. 1. The studied floodplain grasslands of the tracts «Turovsky meadow» (sectors 1, 2) and «Pogost» (sector 3)

Материалы (объекты) и методы исследования. Полевые геоботанические исследования проводились в вегетационный период 2018–2020 гг. классическими методами [2]: маршрутно-рекогносцировочным и маршрутно-детальным с использованием GPS-приемника для привязки точек описаний и треков путевых маршрутов. При исследовании древесно-кустарниковой растительности определялся ее видовой состав, измерялись высота (в м) и диаметр (в см) отдельных деревьев и кустарников. Описание травяных сообществ проводилось по следующей схеме: название фитоценоза; мезо- и микрорельеф; тип почвы; степень распространения фитоценоза, его физиономический облик (аспект), ярусность, флористический состав; распределение растений в сообществе: их ярус, средняя высота, проективное покрытие (в %), фенологическое состояние, жизненность (в баллах – от 1 до 5). На пробных площадках (площадь 1 $м^2$) производились укосы для определения продуктивности луговых сообществ.

Латинские названия видов сосудистых растений даны в соответствии со справочником С.К. Черепанова [3]. Анализ и оформление карты растительности осуществлялись в программной среде ArcGIS. Легенда карты растительности построена с использованием типологического принципа на основе эколого-фитоценотического (доминантного) подхода.

Результаты и их обсуждение. По результатам проведенных геоботанических исследований в вегетационный период 2018 года были построены карты растительности урочищ, разнообразие которой представляли 10 таксономических единиц [4]. Древесно-кустарниковая растительность отображалась 5 картируемыми таксонами: ивняки различного породного состава с указанным интервалом диаметра стволов деревьев (для выбора оптимального способа их уничтожения: мульчером или бензопилой). Луговую растительность представляли 4 таксономические единицы, включающие сообщества лугов разных уровней поймы (высокий, средний и низкий), отличающихся неодинаковой обеспеченностью влагой и питательными веществами.

После проведения мероприятий по расчистке лугов от древесно-кустарниковой растительности на основе авторских результатов исследований (386 геоботанических описаний) в 2020 году были созданы геоботанические карты урочищ, позволяющие оценить эффективность применяемых мер по восстановлению лугов (рис. 2–4). Современная структура растительности пойменных урочищ «Туровский луг» и «Погост» представлена в таблице 1.

Псаммофильные (*Corynephorus canescens*, *Sedum acre*) пустоши, остепненные (*Calamagrostis epigejos*, *Poa angustifolia*, *Agrostis vinealis*, *Carex praecox*) луга формируются на высоком и средневысоком уровнях поймы р. Припять. На территории урочища «Туровский луг» они занимают 60 га, урочища «Погост» – 26 га.

Псаммофитные булавоносцевые пустоши развиваются на сухих рыхлопесчаных малоплодородных почвах со слабым задернением, занимают наиболее высокие песчаные бугры на вершинах песчаных грив, практически не подвержены весенним разливам. Травостой булавоносцевых (*Corynephorus canescens*) сообществ скудный, разреженный, невысокий, состоит из 2–3 подъярусов. Общее проективное покрытие сообществ составляет 30–75%, покрытие мхов и лишайников колеблется

в пределах 0–45%. Верхний подъярус (60–75 см) представляет собой редкий полог из *Artemisia campestris*, *Calamagrostis epigeios*, *Hieracium umbellatum*, *Rumex thyrsiflorus*. Во втором подъярусе (30–40 см) преобладают генеративные побеги *Corynephorus canescens*, к ним примешивается пустошное разнотравье: *Jasione montana*, *Helichrysum arenarium*. Нижний подъярус (10–15 см) слагают *Scleranthus perennis*, *Sedum acre*, *Pilosella officinarum*. Мохово-лишайниковый ярус формируют *Cladonia cornuta*, *Cl. arbuscula*, *Cl. rangiferina*; *Polytrichum piliferum*, *Ceratodon purpureus*, *Brachitesium albicans*.



Рис. 2. Карта растительности биологического заказника «Туровский луг» (участок 1)

Fig. 2. Vegetation map of the biological reserve «Turovsky meadow» (site 1)



Рис. 3. Карта растительности урочища «Туровский луг» (участок 2)

Fig. 3. Vegetation map of the tract «Turovsky meadow» (site 2)

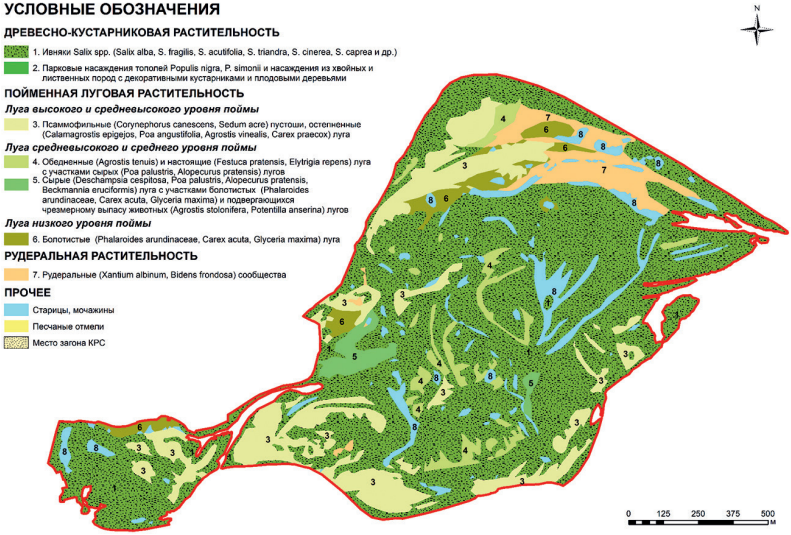


Рис. 4. Карта растительности урочища «Погост» (участок 3)

Fig. 4. Vegetation Map of the tract «Pogost» (site 3)

Таблица 1. Структура растительности пойменных урочищ после проведения мероприятий по восстановлению лугов

Table 1. The structure of the vegetation of floodplain tracts before and after measures to restore grasslands

	Категории легенды / Legend categories	Площадь участков, га Land area, ha		
		№1	№2	№3
	ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			
1.	Ивняки *Salix spp*. (*Salix alba, S. fragilis, S. acutifolia, S. triandra, S. cinerea, S. caprea* и др.)	24	62	122
2.	Парковые насаждения тополей *Populis nigra, P. simonii* и насаждения из хвойных и лиственных пород с декоративными кустарниками и плодовыми деревьями	0,3	–	–
	ЛУГОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			
	Луга высокого и средневысокого уровня поймы:			
3.	Псаммофильные (*Corynephorus canescens, Sedum acre*) пустоши, остепненные (*Calamagrostis epigejos, Poa angustifolia, Agrostis vinealis, Carex praecox*) луга	25	35	26
	Луга средневысокого и среднего уровня поймы:			
4.	Обедненные (*Agrostis tenuis*) и настоящие (*Festuca pratensis, Elytrigia repens*) луга с участками сырых (*Poa palustris, Alopecurus pratensis*) лугов	13	6	7
5.	Сырые (*Deschampsia cespitosa, Poa palustris, Alopecurus pratensis, Beckmannia eruciformis*) луга с участками болотистых (*Phalaroides arundinaceae, Carex acuta, Glyceria maxima*) и подвергающихся чрезмерному выпасу животных (*Agrostis stolonifera, Potentilla anserina*) лугов	46	36	3
	Луга низкого уровня поймы:			
6.	Болотистые (мезогигрофитные) луга (*Phalaroides arundinaceae, Carex acuta, Glyceria maxima*)	32	76	6
	РУДЕРАЛЬНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ			
7.	Рудеральные (*Xantium albinum, Bidens frondosa*) сообщества	0,4	0,3	8,5
	ПРОЧЕЕ			
8.	Старицы, мочажины	3	28	12
9.	Песчаные отмели	6	4	–
10.	Место загона КРС	1	–	–
ИТОГО		151	247	185

Хозяйственной ценности для скотоводства травостои булавоносцевых сообществ не имеют. Однако они играют важную роль для закрепления эоловых образований, припятствуя развитию дефляционных процессов. Сообщества, как и их ценозообразователь (*Corynephorus canescens*), представлены в Беларуси на северо-восточной границе ареала сплошного

распространения, являются редкими и внесены в реестр для включения в Зеленую книгу страны [5, 6]. Местопроизрастания данных фитоценозов относятся к редким биотопам, подлежащим охране в Республике Беларусь (согласно ТКП 17.12-06-2014 (02120) «Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких природных ландшафтов» – биотоп 1.1 «Псаммофитные травяные сообщества на кислых субстратах»).

Благоприятные условия для развития остепненных лугов на р. Припять создаются на высоких уровнях поймы. Здесь почвы в силу повышенной дренированности и легкого гранулометрического состава быстрее просыхают и интенсивнее прогреваются, чем на более низких уровнях поймы. Паводковое затопление, хотя и непродолжительное, несёт им дополнительное питание. Такие фитоценозы занимают вершины грив прирусловой и средней зон поймы с сухими связнопесчаными почвами. Наибольшее распространение получили наземновейниковые (*Calamagrostis epigejos*), келериево-виноградниковополевицевые (*Koeleria delavignei*, *Agrostis vinealis*), узколистномятликовые (*Poa angustifolia*) и раннеосоковые (*Carex praecox*) сообщества.

Высоким флористическим разнообразием отличаются остепненные келериево-виноградниковополевицевые сообщества, получившие развитие на верхних частях грив прирусловых валов на рыхлом аллювии. Травостой таких лугов средней густоты, с общим проективным покрытием 80–90 %, а в годы отсутствия разливов реки – довольно разреженный, состоит из 2–3 подъярусов. Верхний подярус (60–70 см) слагается из доминирующих видов растений – *Koeleria delavignei* и *Agrostis vinealis*, к которым примешиваются в незначительном количестве другие злаки: *Poa angustirolia*, *Calamagrostis epigeios*, *Bromopsis inermis*, *Anthoxanthum odoratum*. Из разнотравья и бобовых в данный подъярус входят *Galium verum*, *Trifolium montanum*, *Allium oleraceum*, *A. angulosum* и др. Второй подъярус (20–35 см) сформирован *Carex praecox*, *Veronica spicata*, *Dianthus deltoides*, *Potentilla argentea*, *Plantago lanceolata*. В приземном подъярусе (5–10 см) обильны почвопокровные растения – *Sedum acre*, *Scleranthus perennis* (рис. 5).

Остепненные пойменные фитоценозы играют большую роль в закреплении почвы от водной и ветровой эрозии, отличаются высоким биологическим разнообразием (в травостое может быть более 40 видов растений). Естественная урожайность таких лугов колеблется от 10 до 30 ц/га в зависимости от видового состава фитоценоза (табл. 2). Получаемые здесь корма характеризуются высоким качеством и хорошо поедаются животными [7].

Сообщества полевицы виноградниковой и осоки ранней являются редкими на территории Беларуси, внесены в реестр для включения в Зеленую книгу страны [5, 6]. Местопроизрастания данных сообществ относятся к редким биотопам, подлежащим охране в Республике Беларусь (согласно ТКП 17.12-06-2014 (02120) – биотоп 4.1 «Ксеромезофитные аллювиальные луга»).

Таблица 2. Характеристика продуктивности
луговых фитоценозов урочищ «Туровский луг» и «Погост»

Table 2. Characteristics of the grasslands productivity
of the tracts "Turovsky meadow" and "Pogost"

Фитоценоз / Phytocenosis	Надземная фитомасса, ц/га Aboveground phytomass, c/ha	Естественная урожайность сена, ц/га Natural yield of hay, c/ha	Хозяйственная урожайность сена, ц/га Economic yield of hay, c/ha
Остепненные (ксеромезофитные) луга			
Полевица виноградниковая + мятлик болотный	50,0	12,5	8,8
Полевица виноградниковая + тонконог Делявиня	54,0	13,5	9,5
Вейник наземный	120,0	30,0	21,0
Тонконог Делявиня	40,0	10,0	7,0
Тонконог Делявиня + вейник наземный	40,0	10,0	7,0
Мятлик узколистный	67,0	16,8	11,7
Мятлик узколистный + лисохвост луговой	90,0	22,5	15,8
Мятлик узколистный + вейник наземный	64,0	16,0	11,2
Мятлик узколистный + мятлик болотный	80,0	20,0	14,0
Обедненные (психромезофитные) и настоящие (эумезофитные) луга			
Полевица тонкая	47,0	11,8	8,2
Пырей ползучий	80,0	20,0	14,0
Пырей ползучий + мятлик болотный	86,5	21,6	15,1
Сырые бедные (оксиломезофитные) и сырые богатые (гигромезофитные) луга			
Лисохвост луговой + кадения сомнительная	90,0	22,5	15,8
Луговик дернистый + пырей ползучий	105,0	26,3	18,4
Мятлик болотный	63,3	15,8	11,1
Мятлик болотный + лисохвост луговой	80,0	20,0	14,0
Мятлик болотный + пырей ползучий	64,0	16,0	11,2
Болотистые (мезогигрофитные) луга			
Осока острая	100,0	24,3	17,5
Манник большой	117,0	25,0	20,5
Двукисточник тростниковый	172,5	29,3	30,2



Рис. 5. Делявинекелериево-виноградниковополевицевое сообщество

Fig. 5. Community of Koeleria delavignei and Agrostis vinealis

Обедненные (*Agrostis tenuis*) и настоящие (*Festuca pratensis, Elytrigia repens*) луга с участками сырых (*Poa palustris*, *Alopecurus pratensis*) лугов на территории урочища «Туровский луг» занимают 19 га, урочища «Погост» – 7 га.

Обеднённые мелкозлаковые луга на исследуемых пойменных территориях представлены тонкополевицевыми (*Agrostis tenuis*) сообществами. Они развиваются на вершинах грив в прирусловой и средней зонах поймы в условиях относительно активной аллювиальности, затапливаются весенними водами на непродолжительный срок.

Травостой тонкополевицевых сообществ разреженный, с общим проективным покрытием 95–100%, состоит из 2–3 подъярусов. Верхний разреженный подъярус (75–90 см) сформирован из *Poa angustifolia*, *Elytrigia repens*. Во втором, основном подъярусе (55–70 см) обычны *Agrostis tenuis*, *Rumex acetosella*, *Leucanthemum vulgare*, *Plantago lanceolata*, *Trifolium fragiferum*. Третий подъярус (15–30 см) сложен *Nardus stricta*, *Dianthus deltoides*, *Hylotelephium ruprechtii*, *Trifolium repens* и др (рис. 6). Урожайность таких фитоценозов невысокая – 11, 8 ц/га (табл. 2), к тому же полевица тонкая – слабо отавное растение и крупным рогатым скотом поедается удовлетворительно только до выметывания метелок [7].

Настоящие (эумезофитные) злаковые луга занимают пологие склоны, невысокие плоские гривки и неглубокие проточные понижения. Такие местообитания характеризуются длительной поемностью и интенсивной аллювиальностью. Почвы часто хорошо аэрированы, проточно увлажнены. В данных условиях на исследуемых участках поймы р. Припять сформировались луговоовсяницевые и ползучепырейные луга. Сообщества овсяницы луговой (*Festuca pratensis*) не получили широкого распространения, в отличие от сообществ пырея ползучего (*Elytrigia repens*).



Рис. 6. Тонкополевицевое сообщество

Fig. 6. Community of Agrostis tenuis

Пырей ползучий – верховой длиннокорневищный, долголетний злак, образует рыхлый травостой, состоящий из генеративных и вегетативных побегов. Этот злак на территории исследуемых урочищ формирует, как монодоминантные сообщества, так и более сложные по флористическому составу ползучепырейные ценозы. Травостой состоит из 2–3 подъярусов, его высота, в зависимости от плодородия почвы, варьирует от 50–70 до 100–130 см. В верхнем подъярусе (80–105 см), где обычно доминирует пырей, произрастают *Phalaroides arundinacea*, *Lysimachia vulgaris*, *Ptarmica cartilaginea*, *Thalictrum flavum*, во втором подъярусе (55–70 см) обычны *Galium palustre*, *Vicia cracca*, *Poa palustris*, *Inula britannica*, *Stellaria palustris*, *Veronica longifolia*. Третий подъярус (10–20 см) сложен *Potentilla anserina*, *Lysimachia nummularia*, *Ranunculus repens*. Естественная урожайность сена таких травостоев составляет 20–22 ц/га. Пырейное сено хорошо поедается крупным рогатым скотом, но особенно оно ценно для лошадей [7].

Сырые (*Deschampsia cespitosa*, *Poa palustris*, *Alopecurus pratensis*, *Beckmannia eruciformis*) луга с участками болотистых (*Phalaroides arundinaceae*, *Carex acuta*, *Glyceria maxima*) и подвергающихся чрезмерному выпасу животных (*Agrostis stolonifera*, *Potentilla anserina*) лугов на территории урочища «Туровский луг» занимают 82 га, в урочище «Погост» – 3 га.

Сырые бедные злаковые луга представлены *дернистолуговиковыми* (*щучковыми*) сообществами, которые не получили широкого распространения на исследуемой территории и носят фрагментарный характер.

Пойменные злаковые сырые богатые луга представлены *болотномятликовыми* (*Poa palustris*) и *бекманиевыми* (*Beckmannia eruciformis*) сообществами, формирующимися на средних уровнях поймы на богатых гумусом, дерновых глееватых или глеевых почвах. В травостоях этих ценозов преобладают злаки высокого кормового достоинства. Наибольшее распространение получили *болотномятликовые* луга, формирующиеся на пологих склонах, невысоких плоских гривках, а также в неглубоких проточных понижениях прирусловой или ближайшей к ней переходной зоны. Травостой лугов средней густоты, обычно состоит из 3 подъярусов. В верхнем подъярусе (80–100 см) часто произрастают *Alopecurus pratensis*, *Phalaroides arundinacea*, *Thalictrum flavum*. Во втором подъярусе (60–80 см) наряду с мятликом болотным в травостое присутствуют *Carex acuta*, *C. vulpina*, *Ptarmica cartilaginea*, *Veronica longifolia*. Третий подъярус (7–20 см) состоит из мелкотравья: *Potentilla anserina*, *Lysimachia nummularia*, *Ranunculus repens*, *R. flammula* (рис. 7). Естественная урожайность сена колеблется от 16 до 20 ц/га в зависимости от видового состава травостоев. Поедаемость мятлика болотного в сене высокая, даже при запоздалой уборке, так как грубеет растение мало. На пастбищах мятлик болотный также хорошо поедается всеми видами скота [7].



Рис. 7. Болотномятликовое сообщество

Fig. 7. Community of *Poa palustris*

Бекманиевые луга широкого распространения на исследуемой территории не получили. Общее проективное покрытие сообществ составляет 90–100%. Травостой бекманиевых ценозов умеренно высокий, густой, состоит из 3 подъярусов. Верхний подъярус (80–90 см) состоит из бекмании обыкновенной, к ней могут примешиваться *Poa palustris*, *Elytrigia repens*, а также генеративные побеги *Rumex thyrsiflorus*, *Ptarmica cartilaginea*, *Lysimachia vulgaris*. Иногда формируется разреженный высокий полог, высотой 100–115 см, из *Alopecurus pratensis* и *Phalaroides arundinacea*. Второй подъярус (30–40 см) состоит из *Juncus atratus*, *Gratiola officinalis*, *Odontites vulgaris* и другого влаголюбивого разнотравья.

Следует отметить, что указанные сообщества, находящиеся в Беларуси на северо-западной границе ареала распространения, стали редкими в результате трансформации местообитаний (осушительная мелиорация, сельскохозяйственное освоение земель), поэтому внесены в реестр для включения в Зеленую книгу страны [5].

Местопроизрастания данных сообществ относятся к редким биотопам, подлежащих охране в Республике Беларусь (согласно ТКП 17.12-06-2014 (02120) «Правила выделения и охраны типичных и редких биотопов, типичных и редких природных ландшафтов» – биотоп 4.7 «Пойменные эвтрофные и мезотрофные луга сенокосного использования»).

Побегообразующеполевицевые (*Agrostis stolonifera*) сообщества формируются по западинам, берегам пойменных водоемов, на аллювиальных наносах с временным избыточным увлажнением. Развитие данных ценозов сопряжено с вытаптыванием. Луга этого типа являются одной из широко распространенных категорий травяного покрова поймы. Травостой сообществ – густой, монодоминантный, одноярусный, низкий (высотой 20–40 см). В состав основного подъяруса, кроме *Agrostis stolonifera*, могут входить *Alopecurus geniculatus*, *A. aequalis*, *Eleocharis palustris*. Иногда формируется второй подъярус (15–25 см) из Juncus compressus, *J. tenuis*, *Ranunculus repens* и *Potentilla anserina*.

Болотистые (мезогигрофитные) луга (*Phalaroides arundinaceae*, *Carex acuta*, *Glyceria maxima*) развиваются на низком уровне поймы р. Припять, на территории урочища «Туровский луг» занимают 108 га, на территории «Погост» – 6 га.

Большеманниковые сообщества (*Glyceria maxima*) приурочены к наиболее низким участкам поймы р. Припять с перегнойно-иловатыми почвами, большую часть года покрытыми водой. Травостой сообществ густой, очень высокий, высотой до 220 см. Может быть практически однородным, с проективным покрытием манника до 95 %, а может иметь сложную вертикальную структуру. В таких фитоценозах первый подъярус (180–220 см) состоит из манника, второй (150–180 см) – из *Phalaroides arundinacea*, третий (120–150 см) – из *Carex acuta*, к которой примешиваются *Bidens frondosa*, *B. tripartita*, *Equisetum fluviatile*, *Ranunculus lingua*. Манник большой дает большую массу травы (табл. 2), которая поедается коровами и лошадьми только до фазы колошения, затем она быстро грубеет и не поедается [7].

Двукисточниковые луга формируются в условиях периодического затопления в прирусловой пойме, а также в межгривных понижениях на дерново-глеевых и иловато-перегнойно-глеевых почвах. Травостой высокий, может быть как однородным, так и иметь сложную вертикальную структуру. Первый подъярус (130–200 см) слагает *Phalaroides arundinacea*, иногда с примесью *Glyceria maxima* и *Calamagrostis canescens*. Второй подъярус (80–120 см) сложен из *Carex acuta*, к которой примешиваются высокорослое разнотравье: *Bidens frondosa*, *B. tripartita*, *Stachys palustris* и др. Третий подъярус (45–60 см) состоит из *Carex vesicaria*, *Equisetum palustre*, *Galium palustre*, *Caltha palustris*, *Alisma plantago-aquatica*, *Agrostis stolonifera*. Четвертый подъярус (20–40 см) сформирован *Potentilla anserina*, *Ptarmica cartilaginea*, *Ranunculus repens*, *Alisma plantago-aquatica*. Средняя урожайность сена – 29 ц/га. Двукисточник довольно рано отрастающее растение сенокосного типа, поедается он и на пастбище до начала выметывания метелок. В сене поедаемость двукисточника – хорошая при уборке в ранние фазы [7]. Основным препятствием в раннем стравливании и скашивании двукисточника является наличие в это время паводковых вод на сенокосах и пастбищах.

Седеющевейниковые (*Calamagrostis canescens*) фитоценозы не получили широкого распространения на территории исследования. В экологическом ряду лугов они занимают самую низкую ступень, постепенно переходя в болотные группировки. Это малоценное в кормовом отношении растение, поедается КРС только с весны.

Остроосоковые (*Carex acuta*) сообщества имеют самое широкое распространение на лугах низкого уровня поймы. Наиболее часто наблюдаются в прирусловой зоне поймы р. Припять, где занимают обширные глубокие понижения, обильно обводненные. Почвы перегнойно-глеевые или дерновые глеевые. Проективное покрытие фитоценозов составляет 90–100%. Травостой остроосоковых сообществ густой, имеет 2–3 подъяруса. Верхний подъярус (120–150 см) сформирован *Carex acuta*, к ней могут примешиваться *Phalaroides arundinacea*, *Lysimachia vulgaris*. Во втором подъярусе (60–85 см) произрастают *Sium latifolium*, *Bidens frondosa*. Третий, приземный подъярус (10–20 см) сформирован *Potentilla anserina*, *Lysimachia nummularia*. Средняя урожайность сена – 24,3 ц/га. Пищевая ценность осоки острой невысока из-за высокого содержания кремния и клетчатки [7].

Среди рудеральной растительности на исследуемых территориях наибольшее распространение получили *беловатодурнишниковые* (*Xantium albinum*), *олиственночередовые* (*Bidens frondosa*) и *конскощавелевые* (*Rumex confertus*) сообщества.

Беловатодурнишниковые сообщества формируются на аллювиальных наносах заиленных отмелей, по прирусловым валам, по заливаемым понижениям прирусловой поймы. Травостой сообществ густой, среднерослый, высотой 70–80 см. Общее проективное покрытие фитоценоза составляет 98–100 %. Верхний подъярус состоит из дурнишника беловатого, его проективное покрытие составляет 60–90 %. В этот же подъярус

входят разные виды череды: *Bidens frondosa*, *B. cernua*, *B. tripartita*. Второй подъярус (30–50 см) состоит из *Agrostis stolonifera*, *Puccinellia distans*, *Alopecurus aequalis*, *Eleocharis uniglumis* (рис. 8). *Xantium albinum* – заносное североамериканское растение. Внедрение данного инвазивного вида растения в пойменные травяные сообщества оказывает негативное воздействие на аборигенную флору и растительность. Беловатодурнишниковые сообщества вытесняют местные отмельные и прибрежно-водные сообщества из их исконных экотопов. Дурнишник не имеет кормовой ценности. Травостой таких сообществ следует выкашивать до стадии плодоношения, чтобы предотвращать их распространение по пойме.



Рис. 8. Беловатодурнишниковое сообщество

Fig. 8. Community of Xantium albinum

Олиственночередовые сообщества формируются в экотопах с достаточным и избыточным увлажнением на дерново-глеевых, а также иловато-перегнойно-глеевых почвах. Травостой высокий, густой. Общее проективное покрытие сообщества составляет 100%. Верхний подъярус (110–130 см) состоит из растений, формировавших травостой до инвазии череды, как правило, это *Glyceria maxima*, *Phalaroides arundinacea*. Второй основной подъярус (80–100 см) – густой, сложен чередой олиственной, к которой в небольшом количестве примешиваются *Carex acuta*,

Stachys palustris и другое высокорослое разнотравье. Третий подъярус (25–50 см) слагается из *Xantium albinum*, *Oenanthe aquatica*, *Vicia cracca* и др. *Bidens frondosa* является инвазионным североамериканским растением, ценозы которого вытесняют пойменные природные сообщества: большеманниковые, двукисточниковые, остроосоковые и другие. Череда олиственная крупным рогатым скотом практически не поедается, так как содержит много эфирных масел и имеет специфический запах. К тому же плоды череды – «волчки», цепляются за шерсть животных, повреждая её и причиняя беспокойство животным.

Заключение. Проведенные исследования позволили получить новые данные по современному состоянию и разнообразию растительных сообществ поймы р. Припять в урочищах «Туровский луг» и «Погост» с целью разработки мероприятий по устойчивому использованию луговых экосистем региона. Следует отметить, что луговые пойменные угодья являются не только основой кормовой базы, но и являются ценными биотопами, подлежащими охране.

Литература

1. План управления территорий важной для птиц “Туровский луг” / Н. В. Карлионова, О. В. Созинов, П. В. Пинчук, В. А. Фенчук. – Минск : Поликрафт, 2012. – 38 с.

2. Полевая геоботаника. – Т. 3. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1964. – 530 с.

3. Черепанов, С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / С. К. Черепанов. – СПб., 1995. – 990 с.

4. Современное состояние растительности поймы р. Припять на участках «Туровский луг» и «Погост» (Республика Беларусь) / Е. Я. Куликова [и др.] // Пойменные и дельтовые биоценозы Голарктики: биологическое многообразие, экология и эволюция : сб. материалов Междунар. научно-практ. конф., Астрахань, 13–18 мая 2019. – Астрахань, 2019. – С. 83–90.

5. Флора Беларуси. Сосудистые растения. В 6 т. Т. 2. Liliopsida. – Минск, 2013. – С. 272.

6. Редкие псаммофильные травяные сообщества Белорусского Полесья / Е. Я. Куликова [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: материалы Междунар. научн. конф., Минск, 14–17 сентября 2016. – С.261–264.

7. Виноградова, Т. А. Определитель луговых злаковых трав Нечерноземной зоны / Т. А. Виноградова – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1984. – 112 с.

Поступила в редакцию 20.10.2021 г.

УДК 630*182:581.526.42:581.9(476)

А. В. ПУЧИЛО

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИЛЬМОВЫХ ЛЕСОВ В БЕЛАРУСИ

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: puchilo@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты многолетних геоботанических исследований ильмовых лесов, которые являются источником достаточно ценной древесины, имеют высокое экологическое и декоративное значение, служат местами локалитета редких видов растений неморальной флоры. Показано их распределение по геоботаническим подзонам, округам и районам Беларуси. Установлено, что ильмовые породы могут содоминировать со всеми основными лесообразователями, в наилучших для них эдафических условиях преобладают в составе древостоя и формируют фитоценозы со своим господством, оказывающие существенное влияние на фитоценотическое разнообразие лесов республики и главным образом – широколиственных.

Ключевые слова: ильмовые леса, геоботанические подзоны, округа и районы Беларуси, распространение, типы леса, древостои, господствующий полог, занимаемая площадь, почвенно-грунтовые условия, широколиственные леса, фитоценозы

A. V. PUCHILO

DISTRIBUTION OF ELM FORESTS IN BELARUS

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

Annotation. The results of long-term geobotanical studies of elm forests, which have quite valuable timber, have a high ecological and decorative value, and are localized in some places of rare species of nemoral flora, are presented. The distribution by geobotanical subzones, districts and regions of Belarus is shown. It has been established that elm species can co-dominate with all the main forest-forming species; in the best conditions for them, edaphic conditions prevail in the composition of the stand and form phytocenoses with their own dominance, which have a significant impact on the phytocenotic diversity of the republic's forests, mainly broad-leaved ones.

Keywords: elm forests, geobotanical subzones, districts and regions of Belarus, distribution, forest types, stands, prevailing canopy, occupied area, soil and soil conditions, broad-leaved forests, phytocenoses.

Введение. По разным сведениям род *Ulmus* L. семейства Ильмовые (Ulmaceae Mirb.) насчитывает свыше 30 видов [1, 2]. Фитоценозы с преобладанием в составе древостоев ильмовых пород формируются в местах, пригодных для жизни этих древесных растений, почти на всех континентах (см. рис.).

На территории России, по данным С.К. Черепанова [3], встречается 8 видов ильма: *Ulmus androssowii* Litv., *U. carpinifolia* Rupp. ex Suckow, *U. glabra* Huds., *U. japonica* (Rehd.) Sarg., *U. laciniata* (Trautv.) Mayr, *U. laevis* Pall., *U. macrocarpa* Hance и *U. pumila* L.

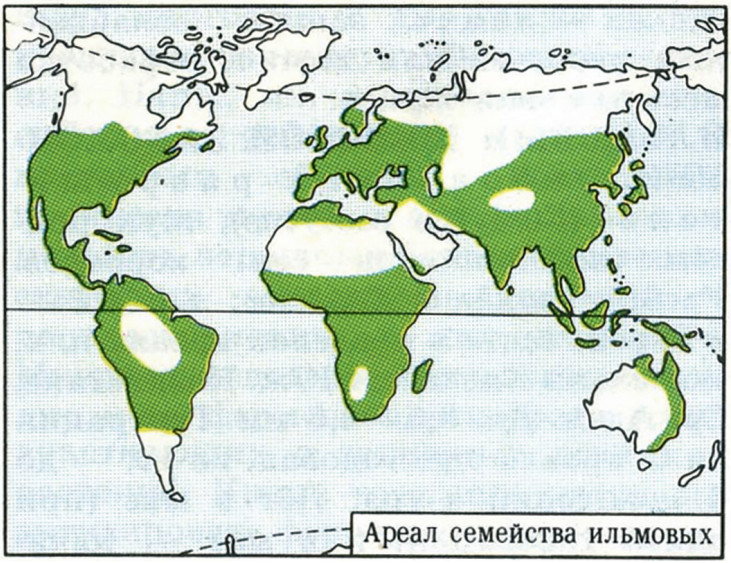


Рис. Распространение ильмовых лесов на континентах

Fig. Areaes occupied by elm forests on the continents [1]

В Беларуси, как типичные сопутствующие породы смешанных лесов Европы, естественно произрастают три вида ильмовых: вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), ильм шершавый, или ильм горный (*Ulmus glabra* Huds.) и берест, или вяз полевой (*Ulmus minor* Mill.) [4, 5]. Пробковой форме береста не следует присваивать ранг вида, так как пробковые выросты провоцируются экологическими условиями произрастания и поэтому не могут служить в качестве видового признака. Ильмовые породы являются компонентами дубрав, ясенников и елово-широколиственных лесов, поэтому типы леса ильмовников образуются в результате их смены. На территории страны И. Д. Юркевичем и В. С. Адерихо [6] выявлены и описаны 2 типа ильмовых лесов (снытевый и крапивный). Выделенные типы леса охватывают ряд ассоциаций, отличающихся по примеси древесных пород, сочетанию и обилию растений напочвенного покрова, подлеска, подроста, присущих данному типу.

Материалы (объекты) и методы их исследования. Объектами исследований послужили ильмовые леса Беларуси. Геоботанические исследования проводились в лесхозах республики со значительным сосредоточением указанных лесов методом маршрутного изучения на типологических пробных площадях (ТПП), согласно «Методическим указаниям к изучению типов леса» [7] и «Программе и методике биогеоценологических исследований» [8] с применением лесотипологических методических разработок лаборатории геоботаники и картографии растительности

Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси.

Детальному изучению лесных фитоценозов предшествовало рекогносцировочное обследование лесных участков. В наиболее типичных местах закладывались типологические пробные площади, размер которых определялся, во-первых, достаточной площадью выявленной ассоциации и во-вторых, необходимыми методическими требованиями лесной таксации. Всего было заложено 6 типологических пробных площадей с преобладанием в составе древостоя ильмовых пород. Помимо перечисленных работ, анализировались базы данных повыдельной таксации лесных насаждений Беларуси 1978 и 2005 годов.

Результаты исследований и их обсуждение. По данным РУП «Белгослес» на 01.01.2005 г., ильмовые леса занимали 168,2 га или 0,002 % лесопокрытой площади (табл. 1). В сравнении с 1978 годом площади ильмовников увеличились в 13 раз. На территории республики они распространены неравномерно. В северной геоботанической подзоне дубово-темнохвойных лесов их площадь составляет 83,66 %. Они расположены в основном в северо-западной части территории республики в Западно-Двинском (79,79 %) геоботаническом округе. Здесь наибольшие площади ильмовников отмечены в Суражско-Луческом (52,26 %), Полоцком (15,16 %) и Дисненском (12,37 %) геоботанических районах. В двух других геоботанических округах этой подзоны ильмовые леса менее распространены (в пределах 0,54 – 3,33 %). При этом во многих геоботанических районах насаждения с преобладанием в составе древостоя ильмовых пород отсутствуют или занимают малую площадь – от 0,6 (Минско-Борисовский) до 5,0 (Нарочано-Вилейский) га. В сравнении с северной, в центральной (10,28 %) и южной (6,06 %) геоботанических подзонах ильмовые леса имеют значительно меньшее распространение и занимают площадь от 0,4 до 9,2 га в Гомельско-Приднепровском и Налибокском геоботанических районах соответственно. Примерно в половине геоботанических районов они не встречаются вообще.

Рассматривая в общих чертах распространение ильмовых лесов по геоботаническим подзонам, мы наблюдаем значительное отклонение в теоретических представлениях о лесообразующей роли ильмовых пород как представителей неморальной флоры, которая в большей мере должна проявляться в южной части республики, а к северу – ослабевать. В действительности, наибольшее распространение ильмовников на территории республики отмечено в Белорусском Поозерье в центральной ее части. Данное обстоятельство, видимо, обусловлено не только биологическими свойствами ильмовых пород, их требовательностью к плодородию и влажности почв, но и особенностями почвенно-грунтовых условий этих регионов, характеризующихся превалированием в почвенном покрове различных элементов рельефа (моренных возвышенностей, а также озерно-ледниковых, донно-моренных низин и равнин и т. д.), суглинистых и супесчаных почв, обладающих достаточно высоким для нечерноземной зоны плодородием.

Таблица 1. Распространение ильмовых лесов в Беларуси

Table 1. Distribution of elm forests in Belarus

Подзона/ Subzone	Геоботанические категории/ Geobotanical Categories		Площадь ильмовников/ Square of elm forests					
	Округ/District	Район/Region	1978 г.		2005 г.		изменение, (±)	
			га	%	га	%	га	%
Дубово-темнохвойных лесов	Западно-Двинский	Полоцкий	1,0	7,69	25,5	15,16	+24,5	+2550,0
		Суражско-Луческий	1,0	7,69	87,9	52,26	+86,9	+8790,0
		Браславский	–	–	–	–	–	–
		Дисненский	3,0	23,08	20,8	12,37	+17,8	+693.3
	Итого по округу		*5,0*	*38,46*	*134,2*	*79,79*	*+129,2*	*+2684,0*
	Ошмянско-Минский	Нарочано-Вилейский	–	–	5,0	2,97	+5,0	+100,0
		Верхне-Березинский	–	–	–	–	–	–
		Минско-Борисовский	1,0	7,69	0,6	0,36	–0,4	–60,0
	Итого по округу		*1,0*	*7,69*	*5,6*	*3,33*	*4,6*	*+560,0*
	Оршанско-Могилевский	Оршанско-Приднепровский	1,0	7,69	–	–	–1,0	–100,0
		Березинско-Друтский	–	–	0,9	0,54	+0,9	+100,0
		Сожский	–	–	–	–	–	–
		Беседский	–	–	–	–	–	–
	Итого по округу		1,0	7,69	0,9	0,54	–0,1	–90,0
Итого по подзоне			**7,0**	**53,84**	**140,7**	**83,66**	**+133,7**	**+2010,0**

Окончание табл. 1

Подзона/ Subzone	Геоботанические категории/ Geobotanical Categories		Площадь ильмовников/ Square of elm forests					
	Округ/District	Район/Region	1978 г.		2005 г.		изменение, (±)	
			га	%	га	%	га	%
Грабово-дубово-темнохвойных лесов	Неманско-Предполесский	Неманский	–	–	–	–	–	–
		Налибокский	–	–	9,2	5,47	+9,2	+100,0
		Волковыско-Новогрудский	–	–	3,3	1,96	+3,3	+100,0
		Беловежский	–	–	–	–	–	–
		Западно-Предполесский	–	–	–	–	–	–
	Итого по округу		–	–	*12,5*	*7,43*	*+12,5*	*+100,0*
	Березинско-Предполесский	Центрально-Березинский	–	–	1,2	0,71	+1,2	+100,0
		Центрально-Предполесский	–	–			–	–
		Чечерско-Приднепровский	1,0	7,69	3,6	2,14	+2,6	+360,0
	Итого по округу		*1,0*	*7,69*	*4,8*	*2,85*	*+3,8*	*+480,0*
Итого по подзоне:			**1,0**	**7,69**	**17,3**	**10,28**	**+16,3**	**+1730,0**
Широколиственно-сосновых лесов	Бугско-Полесский	Бугско-Припятский	–	–	8,6	5,11	+8,6	+100,0
		Пинско-Припятский	1,0	7,69	1,2	0,71	+0,2	+120,0
	Итого по округу		1,0	7,69	9,8	5,82	+8,8	+980,0
	Полесско-Приднепровский	Центрально-Полесский	–	–			–	–
		Припятско-Мозырский	–	–			–	–
		Южно-Полесский	–	–			–	–
		Гомельско-Приднепровский	4,0	30,77	0,4	0,24	–3,6	–10,0
	Итого по округу		*4,0*	*30,77*	*0,4*	*0,24*	*–3,6*	*–10,0*
Итого по подзоне			**5,0**	**38,46**	**10,2**	**6,06**	**+5,2**	**+204,0**
Всего по Беларуси			**13,0**	**100,0**	**168,2**	**100,0**	**+155,2**	**+1293,8**

Аналогичная тенденция в распространении ильмовников наблюдается и в южной геоботанической подзоне широколиственно-сосновых лесов. В этой подзоне наибольшие площади ильмовников сосредоточены в Бугско-Припятском (5,11 %) геоботаническом районе, на территории которого залегают обширные массивы высоко плодородных супесчаных и суглинистых почв. В других районах ильмовники распространены значительно меньше, по-видимому, в связи с преобладанием в почвенном покрове бедных песчаных почв и интенсивным освоением плодородных земель сельскохозяйственным производством.

Вместе с тем, конкурентные взаимоотношения с другими древесными породами и воздействие антропогенных факторов оказывают существенное влияние на характер распространения ильмовых лесов по территории республики, их состав, структуру и продуктивность. Ильмовые породы редко образует чистые насаждения. Спорадически они встречаются в составе древостоя хвойных фитоценозов. В наилучших для них эдафических условиях могут преобладать в составе древостоя в господствующем пологе и содоминировать со всеми основными лесообразующими породами.

Учитывая большую народнохозяйственную и экологическую значимость ильмовых насаждений, лесоводами республики проведена значительная работа по их восстановлению и охране. Наиболее важным, на наш взгляд, результатом этой работы явилось принятое решение о переводе молодняков с участием в составе древостоя более двух единиц ильмовых пород в твердолиственную хозяйственную секцию, предусматривающую планирование и проведение лесохозяйственных мероприятий, направленных на формирование ильмовых насаждений. Кроме того, Министерству лесного хозяйства республики были переданы находящиеся в пользовании сельскохозяйственных предприятий покрытые лесом земли с преобладанием в составе древостоев не только мелколиственных, хвойных, но и широколиственных пород и в том числе - ильмовых. Благодаря этому, в течение последних почти трех десятилетий произошло значительное увеличение площадей ильмовых лесов.

Заключение. Таким образом, в Беларуси ильмовые леса распространены неравномерно. Большая часть ильмовников расположена в северной части республики. В центральной и южной ее частях они занимают значительно меньшую площадь. Характер распространения ильмовых лесов по территории республики определяется биологическими особенностями ильмовых пород, проявляющимися в их способности, наряду с относительно слабыми позициями в конкурентных взаимоотношениях с другими основными лесообразующими породами, формировать древостои со своим господством только в исключительно богатых эдафотопах, что требует их учета при рациональной организации лесохозяйственной и природоохранной деятельности.

Литература

1. Ильмовые // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. — М.: Советская энциклопедия, 1969 - 1978.

2. Лесная энциклопедия: В 2-х т./гл. ред. Воробьев Г.И.; Ред. кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1985. – 563 с.

3. Черепанов, С.К. Сосудистые растения ССР/С.К. Черепанов. – Л.: Наука, 1981. – 510 с.

4. Грудзинская, И. А. Сем. Ильмовые / И. А. Грудзинская//Ареалы деревьев и кустарников СССР: в 3 т. –Л., 1977. – Т. 1. – С. 126–132.

5. Козловская, Н. В. Хорология флоры Белоруссии/ Н. В. Козловская, В. И. Парфенов. – Минск: Наука и техника, 1972. – 312 с.

6. Геоботанические и эколого-фенологические исследования лесной растительности Белоруссии: отчет о НИР (заключ.)// Институт экспериментальной ботаники: рук. И. Д. Юркевич. – Минск, 1985. – 450 с. – № ГР 81011368.

7. Сукачев, В. Н. Методические указания к изучению типов леса/ В. Н. Сукачев, С. В. Зонн. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 144 с.

8. Дылис, В. Н. Программа и методика биогеоценологических исследований / В. Н. Дылис. – М.: Наука, 1974. – 402 с.

Поступила в редакцию 10.11.2021 г.

УДК 630*585:528.85

М. Л. РОМАНОВА, А. Р. ПОНТУС,
С. В. ЗЕНЬКОВИЧ, М. М. МАКСИМОВ

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАСАЖДЕНИЙ ЗЕЛЕНЫХ ЗОН г. МИНСКА НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: Ajuga2018@mail.ru

Аннотация. На выделенных на территории пяти экологических зон г. Минска 12-ти тестовых полигонах (ТП) синхронизированно проведена диагностика жизненного состояния древесных насаждений на основе данных наземных исследований (содержание пигментов фотосинтетического комплекса в листовой биомассе доминантов древостоя и полога насаждений) и данных анализа вегетационных индексов, рассчитанных в результате автоматической инвентаризации и классификации спутниковых снимков зеленых зон города, полученных в процессе дистанционного зонирования Земли (ДЗЗ). Установлены тесные корреляционные связи содержания хлорофилла и каротиноидов в зеленой биомассе насаждений с вегетационными индексами NDVI и SIPI, что указывает на возможность на основе данных ДЗЗ классифицировать состояние древесных насаждений озелененных зон в категориях «хорошее», «удовлетворительное» и «неудовлетворительное». Обсуждается необходимость совершенствования классификации состояния и динамики растительности по данным ДЗЗ с учетом результатов наземных исследований по специфике воздействия стрессовых факторов среды различной природы на фотосинтетический потенциал растений.

Ключевые слова: зеленые зоны, вегетационные индексы, дистанционные исследования Земли, программный комплекс, доминанты древостоя, хлорофилл, каротиноиды.

M. L. ROMANOVA, A. R. PONTUS,
S.V. ZENKOVICH, M. M. MAKSIMOV

APPRECIATION OF THE STATE OF GREEN AREAS IN MINSK ON THE BASIS OF GROUND AND SPACE RESEARCH

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: Ajuga2018@mail.ru

Annotation. In five ecological zones of Minsk, 12 ground-based test sites (TS) were selected, they are the points of assembly of ground and satellite data on the state of green spaces, which is necessary to solve the problems of their subsequent automatic inventory and classification. In the process of processing remote sensing data, the vegetative indices (NDVI, SIPI) were calculated. Ground studies determined the content of chlorophylls and carotenoids in the leaves. As a result, quite close correlations between the content of chlorophyll a, carotenoids and vegetative indices were revealed. On this basis, green areas fit into 3 categories: good, satisfactory and unsatisfactory. The improvement of ERS classification of state and dynamics of vegetation according to results of stress factors effects to photosynthetic potential of plants is discussed.

Keywords: green zones, vegetative indices, remote studies of the Earth, software complex, dominants of the stand, chlorophyll, carotenoids.

Введение. Зеленые зоны в условиях урбанизированной среды выполняют множество функций, определяющих качество жизни городского населения. Известно, что для жизнедеятельности одного человека требуется в среднем 270 кг кислорода в год, т.е. величина, соизмеримая с количеством кислорода, продуцируемого листовой биомассой одного дерева таких пород как тополь или дуб. Кроны деревьев городских посадок задерживают 60–70 % пыли в воздухе, понижают его температуру в жаркую погоду за счет испарения влаги, снижают уровень шума и загазованность. Средствами озеленения возможно создание воздушных потоков, поступающих из пригородных лесов в город. В то же время, по данным мониторинга растительности зеленых зон на территории г. Минска, до настоящего времени не удается достичь экологически обоснованного уровня озелененности в 40 % ввиду сокращения площади зеленых насаждений из-за повышенной плотности многоэтажной застройки города [1, 2].

Насущной и достаточно острой проблемой городского озеленения является также поддержание оптимальных условий произрастания древесных растений в условиях среды, испытывающей высокую техногенную и антропогенную нагрузку вследствие загрязнения почвы и воздушного пространства токсичными выбросами автотранспорта и промышленных производств. Негативные изменения в растительном покрове зеленых зон на территории г. Минска, наиболее зримо проявляющиеся в поражении древесных растений грибными и вирусными заболеваниями, повреждении насекомыми-вредителями, ослаблении и засыхании под воздействием засоления почвенного грунта антигололедными средствами, уплотнения почвы в рекреационных зонах, требуют постоянного сезонного мониторинга состояния насаждений еще на ранних стадиях их деградации для своевременного выявления характера этих изменений и принятия соответствующих мер защитно-оздоровительного характера [2–4].

В ходе наземных исследований жизнедеятельности древесных насаждений на территориях, подвергающихся стрессовому воздействию среды, в качестве основного индикатора общего состояния растительных объектов диагностируется эффективность работы фотосинтетической системы, определяющей характер ростовых и продукционных процессов растений [5, 6]. Наиболее информативно реакцию фотосинтетического комплекса на условия среды произрастания отражают показатели качественного и количественного состава фотосинтезирующих пигментов листового аппарата и их временные изменения, характеризующие степень и направленность воздействия стрессовых факторов различной природы на физиологическое состояние древесных растений [7–10].

Однако результативность наземных мониторинговых исследований существенно осложняют быстрота и экологическая многофакторность происходящих изменений, высокая трудозатратность и временная продолжительность аналитических работ.

В этой связи в последние годы все шире в систему мониторинга растительности на урбанизированных площадях внедряется методология дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), использующая современные программные

комплексы для оценки состояния насаждений (ПК ОСЗН) на основе анализа спутниковых снимков озелененных территорий. Анализ состояния зеленых насаждений изучаемой территории выполняется в интерактивном режиме методом специализированного экспертного дешифрирования значений спектральных каналов различного диапазона с последующими математическими расчетами на их основе вегетационных индексов – главных параметров оценки состояния растительности. Примером успешного применения такой технологии в Беларуси могут служить полученные на основе анализа данных ДЗЗ дифференцированные схемы степени озелененности структурно-планировочных единиц территории г. Минска и прилегающих территорий, показавшие неравномерность структуры и состояния растительного покрова в пределах различных по функциональному использованию участков города и примыкающих территорий, обусловленные такими причинами как неблагоприятные, в отличие от пригородных лесных массивов, условия функционирования растений в застроенных частях города, неоднородность видового состава зеленых насаждений, темпы временной динамики растительности под воздействием техногенных и природных факторов [11, 12].

Представляется очевидным, что одним из аспектов развития технологии мониторинга качества зеленых насаждений в условиях урбанизированных территорий с применением данных ДЗЗ является разработка тематического классификатора, позволяющего на основе спектральных характеристик растительности достоверно оценивать физиологическое состояние древесных растений в течение вегетации и своевременно фиксировать негативные изменения, индуцированные стрессовыми факторами различной природы.

С учетом высокой степени чувствительности элементов фотосинтезирующей системы растений к воздействию внешней среды цель настоящей работы заключалась в установлении корреляционной связи спектральных характеристик (вегетационных индексов) фотосинтезирующего комплекса листовой массы древесных насаждений, полученных в процессе ДЗЗ, с данными анализа фотосинтезирующих пигментов растений на тех же объектах, синхронизировано полученных в результате подспутниковых (наземных) исследований.

Материалы (объекты) и методы исследования. Для оценки состояния древесных насаждений на территории г. Минска в 5-ти экологических зонах города были выбраны 12 наземных тестовых полигонов (ТП). Согласно архитектурно-планировочным данным УП «Минскградо» были выполнены геопривязка ТП по «твердым контурам и объективным узлам местности» генерального плана г. Минска, определены местоположение ландшафтно-рекреационных территорий, учтены качественная оценка состояния окружающей среды, сведения об обеспеченности населения рекреационными территориями, схемы улично-дорожной сети из открытых источников (OpenStreetMap, GISI.ab и др.) [1].

Сбор наземных (подспутниковых) данных о состоянии зеленых насаждений на ТП осуществляли в пределах круговых площадок, радиусом 500 м в сроки, максимально приближенные к датам съемки этих территорий в процессе ДЗЗ (рис. 1).

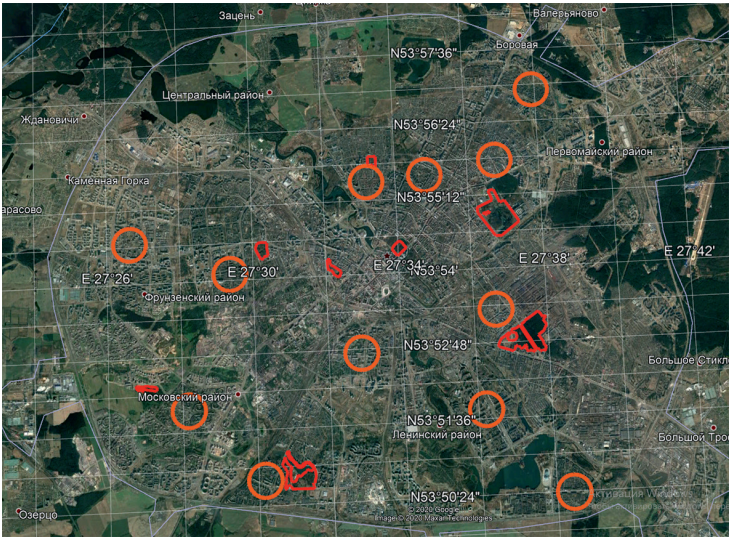


Рис. 1. Объекты исследования (тестовые полигоны) в г. Минске

Fig. 1. Objects of research (test sites) in Minsk

Геопространственная привязка тестовых полигонов представлена на таблице 1:

Таблица 1. Перечень тестовых полигонов (ТП)
с зонами древесных насаждений на территории г. Минска

Table 1. The list of test sites (TS) with wood stands on Minsk territory

Тестовый полигон Test site	Расположение на территории Territorial location
№ 1	район ул. Одоевского
№ 2	микрорайон Кунцевщина
№ 3	район ул. Осипенко
№ 4	район ул. Куйбышева
№ 5	район ул. Толбухина
№ 6	микрорайон Зеленый луг
№ 7	район Тракторного завода
№ 8	микрорайон Чижовка
№ 9	микрорайон Чкаловский
№ 10	микрорайон Курасовщина
№ 11	микрорайон Серебрянка
№ 12	микрорайон Юго-Запад

Для исследований **в технологии ДЗЗ** использовались снимки спутников БКА и Sentinel-2. Отбирались снимки с минимальной облачностью (без дымки и облаков), произведенные **в июле** месяце – достаточный для оценки зеленых насаждений период активной вегетации древесных растений. Для характеристики сезонной динамики на отдельных ТП анализировали состояние насаждений по снимкам, сделанным в течение **сентября**. Из имеющихся материалов были отобраны наиболее качественные снимки, где сезонная динамика хорошо просматривалась и даты съемки за последние 4 года были приближены к одинаковым фазам вегетации растений.

Анализ состояния зеленых насаждений изучаемой территории выполнялся специализированным экспертным дешифрированием в интерактивном режиме. В качестве главных параметров оценки состояния растительности рассматривались значения вегетационных индексов NDVI и SIPI, которые рассчитывались путем применения математических операций над каналами различного спектрального диапазона данных ДЗЗ. Для вычисления этих параметров использовали технологию зональных космических изображений, полученных в выше указанных спектральных интервалах (Sentintel 1-2, БКА, ALOS, ASTER, Landsat и др.) [13–19].

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности – показатель количества фотосинтетически активной биомассы. Это один из самых распространенных и широко применяемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки зеленых насаждений.

Значение этого индекса вычисляли по следующей формуле:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{RED}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{RED}},$$

где NIR – изображение в ближней инфракрасной области спектра (0,7–1,0 мкм); RED – изображение в красной области спектра (0,6–0,7 мкм).

Согласно формуле, объем фитомассы (NDVI) в определенной точке изображения равен разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области находится область максимального отражения клеточных структур листа. Таким образом, высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с плотной здоровой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов. Использование не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет

уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой, а также получить стандартные значения индекса от –1 до +1, что упрощает в дальнейшем его интерпретацию [3].

SIPI (Structure Insensitive Pigment Index) – этот индекс основывается на измерении отражательной способности объемных каротиноидов (главным образом альфа-каротин и бета-каротин), хлорофилла, уменьшая чувствительность к изменению структуры покрытия (например, индекс листовой поверхности). Увеличение значения индекса SIPI, указывает на стресс у растений (преобладания пигмента бета-каротиноидов). В технологии ПК ОСЗН использование индекса SIPI обусловлено необходимостью проведения регулярного мониторинга растительного покрова с оперативной его эколого-функциональной диагностикой и выявление участков территорий, где наблюдается физиологический стресс растений. Индекс SIPI определяется по следующей формуле:

$$SIPI = \frac{\rho_{800} - \rho_{445}}{\rho_{800} - \rho_{680}}$$

где р – длина волн.

Величина этого показателя находится в диапазоне от 0 до 2. Общий диапазон его значений для зеленой растительности составляет от 0,8 до 1,8.

Операция тематического картографирования ПК ОСЗН производилась после выполнения пространственного анализа структуры зеленых насаждений в пределах ТП и проведения автоматизированной обработки космических снимков с использованием индекса SIPI. Результаты автоматизированной обработки космических снимков с использованием индекса SIPI конвертировались в векторные форматы геоинформационных систем (Arc/INFO, ArcView, AutoCAD, MicroStation и т. д.) для дальнейшего пространственного анализа и тематического картографирования.

В ходе **подспутниковых (наземных) исследований** на всех ТП проводили учет количества древесных растений, вычисляли процент участия каждого вида в насаждении, оценивали социальный статус деревьев по показателям класса Крафта, степень затенения крон, их дефолиации и дехромации.

Степень поврежденности деревьев вредителями, основные заболевания и степень их распространенности в насаждениях определяли согласно [2, 3].

Объектами исследования служили виды, доминирующие в насаждениях на ТП: липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (обыкновенный) (*Acer platanoides* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), дуб черешчатый или обыкновенный (*Quercus robur* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), тополь черный (*Populus nigra* L.), ива остролистная (Salix acutifolia Wild.), ель обыкновенная или европейская (*Picea abies* (L.) H.Karst.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Отбор растительного материала (листьев и хвои 2-го года жизни) для количественной оценки содержания пигментов фотосинтетического ком-

плекса (хлорофилла, каротиноидов) производили у 5–10 деревьев доминантных видов: у лиственных пород среднего и приспевающего класса возраста (30–40 лет), у хвойных пород 4-го класса возраста (70–80 лет) в 3-кратной повторности с каждого дерева. Для аналитических работ формировали два варианта средневзвешенных образцов сырой массы растительного материала: 1) для определения видовой характеристики содержания пигментов в кроне доминантов смешивали в равных долях навески листьев (хвои) из каждого отобранного на ТП образца данного вида; 2) для характеристики содержания пигментов в кроне насаждений на каждом отдельном ТП смешанные образцы формировали из навесок растительного материала доминантных видов пропорционально их участию в насаждении на данном ТП.

Концентрацию хлорофилла и каротиноидов анализировали в ацетоновых вытяжках после экстракции пигментов вакуумным способом [20]. Оптические плотности пигментных вытяжек определяли на спектрофотометре марки Proscan MC 122 (Беларусь) по центрам поглощения: для хлорофилла *a* – 644 нм, хлорофилла *b* – 662 нм, для каротиноидов – 440 нм. Показатели содержания пигментов в растительных образцах выражали в мг/г сырой массы листьев (хвои).

По рассчитанным значениям индексов, полученных в результате анализа данных ДЗЗ, и показателям количественной и качественной характеристики состояния пигментного аппарата растений подспутниковых исследований, качество зеленых насаждений на ТП оценивали, согласно [12], в трех категориях: *хорошее, удовлетворительное и неудовлетворительное*.

Статистическую обработку данных проводили стандартными методами вариационной статистики [21], определение степени корреляционной связи характеристик фотосинтезирующей системы растений, синхронизированно полученных в ходе спутниковых наблюдений и наземных лабораторных исследований, анализировали по значениям коэффициента Пирсона (r) и коэффициента детерминации (R^2) с использованием пакета программ *Exele* и *Anova*.

Результаты исследований и их обсуждение. Наземные исследования видового состава и структуры древесных насаждений в зеленых зонах ТП показали, что преобладающими породами в основном являются широколиственные деревья – липа, в том числе мелколистная, клен остролистный, каштан конский, тополь черный, ясень обыкновенный, из мелколиственных – береза повислая. Доля участия в насаждениях таких видов как дуб черешчатый, вяз шершавый, тополя разных видов (берлинский, канадский, китайский), липа крупнолистная, лиственница европейская, вяз голый, дуб красный, клен американский, робиния лжеакация, сумах оленерогий значительно ниже.

В ходе визуальной оценки состояния древесных растений в пределах ТП выявлены определенные признаки поражения деревьев заболеваниями разной этимологии и насекомыми вредителями [3, 4]. Отмечено обширное поражение наиболее распространенного в озеленении Минска вида – липы мелколистной сажистым грибком, в результате чего листья

становятся липкими от сладкой жидкости – пади, которую выделяют тли, при этом на листьях часто наблюдается черный налет, похожий на сажу или угольную пыль, который легко стирается. Также довольно часто на листьях липы наблюдались многочисленные красные шипы – галлы, вызванные поражением листьев галловым клещом.

Из всех обследованных на ТП насаждений с участием каштана конского в неудовлетворительном состоянии находилось более половины деревьев, что проявлялось в обширном поражении листьев (пятна, отверстия, наросты) и свидетельствовало о воздействии пулевой моли, способной перемещаться также и на деревья клена остролистного. У 60 % деревьев дуба черешчатого установлено инфицирование листьев облигатным патогенным грибом – мучнистой росой (*Erysiphe alphytoides*), вызывающим дефолиацию и являющимся существенным фактором ослабления жизнедеятельности растений дуба.

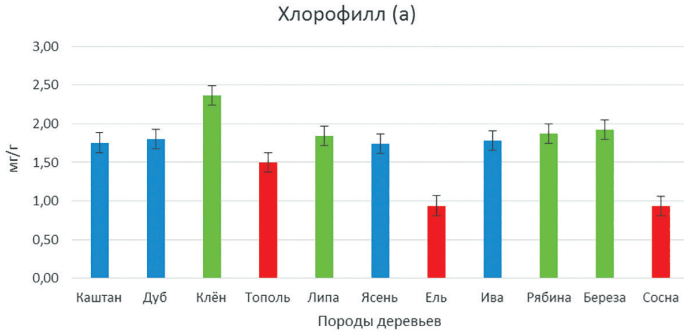
В Минске практически отсутствуют обширные посадки клена ясенелистного, который произрастает в основном в скверах, парках, дворах в виде крупных декоративных деревьев высотой 12–15 м, этот вид клена был обнаружен в виде угнетенных искривленных древостоев в уличных посадках и промзонах, в запущенных насаждениях и местах самосева присутствовал в кустовой форме, что препятствовало возобновлению на этих территориях ив и тополей. В то же время, по данным обследования ТП, клен остролистный (обыкновенный) – один из наиболее распространенных в городе видов клена, показал довольно высокую степень устойчивости к болезням и условиям произрастания.

Оценка состояния хвойных пород, ели европейской и сосны обыкновенной показала на отдельных ТП присутствие на деревьях грибковых инфекций и повреждений насекомыми-вредителями. Установлено, что наибольшее число поражений сосне наносится опасным вредителем вершинным короедом (*Ips acuminatus* Eichh.) [3]. Ель обыкновенная или европейская более других хвойных пород подвержена грибковым заболеваниям и нападению насекомых-вредителей. Чаще всего у деревьев этой породы фузариоз, корневая гниль, ржавчина шишек, шютте [4]. Среди вредителей наиболее часто отмечалось присутствие тли, листовертки, паутинного клеща [4].

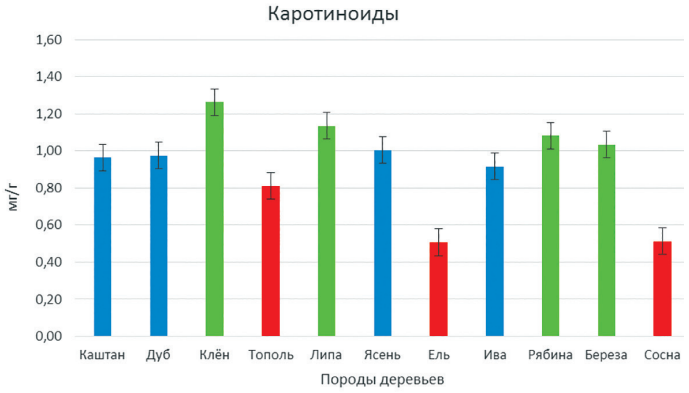
Известно, что одним из показателей реакции растений на изменение факторов внешней среды, степени их адаптации к стрессовым ситуациям, повреждениям болезнями и вредителями является содержание хлорофиллов и каротиноидов – главных фоторецепторов фотосинтезирующей клетки [5].

Основное внимание в наших исследованиях состояния фотосинтезирующих пигментов древесных растений было уделено анализу показателей содержания в листовой биомассе хлорофилла *a*, молекула которого в хлоропластах листа растения выполняет важнейшие функции избирательного поглощения энергии света и фотохимического преобразования ее в химическую энергию первичных фотовосстановленных и фотоокисленных соединений, и сумарного содержания каротиноидов, играющих важную роль в защите пигментного комплекса ассимиляционного аппарата благодаря их фоторецепторной и антиоксидантной функции в клетках листьев.

На рисунке 2 представлены видовые характеристики средних значений содержания хлорофилла *a* и суммы каротиноидов у исследуемых пород-доминантов, свидетельствующие о существенных межвидовых различиях в уровнях показателей. К группе с высокими показателями хлорофилла и каротиноидов в листовой массе (соответственно 1,85–2,37 и 1,03–1,26 мг/г сырого вещества) относятся клен остролистный, липа мелколистная, рябина остролистная, береза повислая. Наиболее низкими значениями содержания этих пигментов (0,93–1,50 и 0,51–0,81 мг/г сырого вещества) характеризуются тополь черный и хвойные породы – ель европейская и сосна обыкновенная.



А



Б

Рис. 2. Среднее содержание хлорофилла *a* (А) и каротиноидов (Б) в листьях (хвое) древесных пород, доминирующих в насаждениях на тестовых полигонах

Fig. 2. Average values of chlorophyll *a* (A) and carotenoid (Б) content in leaves (needle) of dominance wood breeds on the test sites

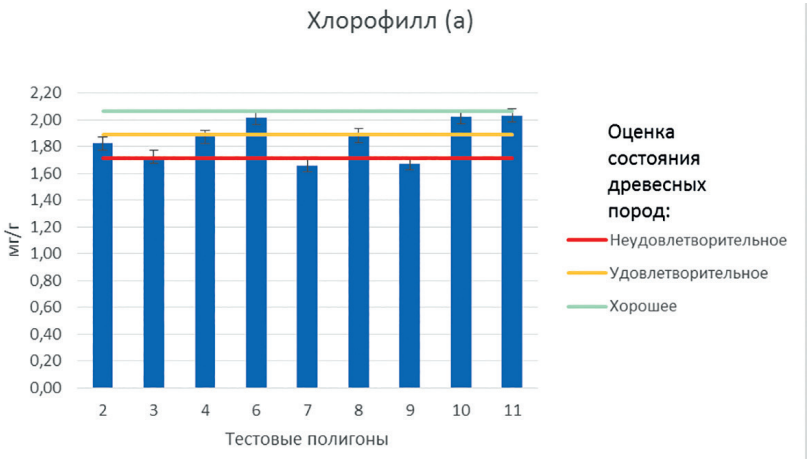
Как известно, изменения в пигментном комплексе растений могут быть использованы для индикации их толерантности к влиянию негативных техногенных или антропогенных факторов, особенно в промышленных центрах [5–10]. Проведенный нами анализ содержания хлорофилла *a* у исследуемых древесных видов также выявил существенные различия между уровнями показателей у растений одной породы, произрастающих в условиях разных ТП. У каштана их значения варьировали в диапазоне 0,8–3,20 мг/г сырого вещества, у дуба 1,45–2,32 мг/г, клена 1,56–4,12 г/г, тополя 1,07–1,80 мг/г, липы 1,41–3,76 мг/г, ясеня 1,63–2,43 мг/г, ивы 1,17–3,03 мг/г, рябины 1,63–2,66 мг/г, березы 1,23–2,09 мг/г, ели 0,48–2,15 мг/г, сосны 0,60–1,11мг/г сырого вещества. В данном случае по амплитуде изменения уровней содержания хлорофилла *a* у растений в зависимости от условий произрастания можно судить о степени чувствительности пигментного комплекса видов древесных растений на воздействие внешних стрессовых факторов. Так, отмеченная нами высокая степень инфицированности дуба черешчатого и липы мелколистной грибными инфекциями отразилась на 20–25 %-ном снижении содержания пигмента в их листьях. Поражение каштана конского молью минер индуцировало у растений на ТП с местообитанием этого вредителя снижение содержания хлорофилла *a* относительно среднестатистического показателя на 54 %. Показательно, что на повышенную чувствительность пигментного аппарата липы, каштана и дуба к внешнему негативному воздействию указывает и более высокое соотношение у них концентраций каротиноидов и хлорофилла *a* по сравнению с остальными исследуемыми культурами (0,55–0,62 и 0,52–0,54 соответственно).

Статистический анализ данных лабораторных исследований и ДЗЗ выявил высокий уровень корреляции значений индекса NDVI и содержания хлорофилла *a* в кронах пород, представленных в насаждениях эталонных полигонов – для этих показателей коэффициент корреляции Пирсона (r) составил 0,845, а коэффициент детерминации (R^2) – 0,714 (рис. 3).

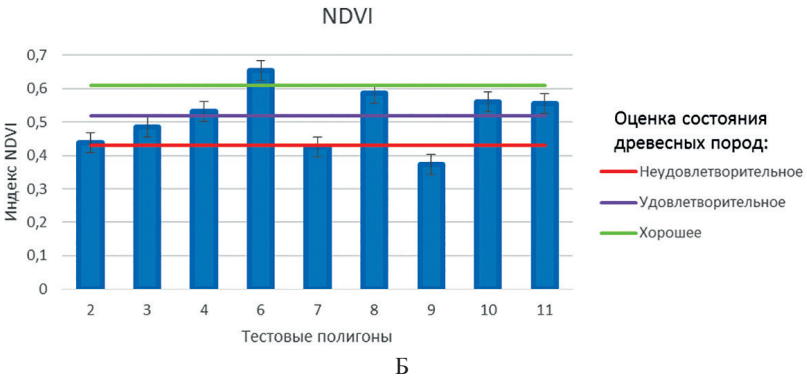
Рассчитанные для индекса SIPI и содержания каротиноидов в кронах пород, представленных в насаждениях на тестовых полигонах, значения коэффициентов корреляции ($r = 0,861$; $R^2 = 0,740$) также свидетельствовали о тесной связи количественных показателей ключевых пигментов фотосинтетического комплекса растений со спектральными характеристиками (вегетационными индексами), полученными в процессе ДЗЗ (рис. 4).

По оценке жизненного состояния древесных растений на тестовых полигонах на основе значений индексов NDVI и SIPI (рис. 3 и 4), категорией «неудовлетворительное» характеризуются зеленые насаждения на территории ТП № 7 (район Тракторного завода) и ТП № 9 (Чкаловский район), расположенных в экологически неблагополучных зонах промышленных производств и узлов железнодорожных путей и автомагистралей. Категорией «хорошее» отмечается состояние древесных насаждений на ТП № 6 (микрорайон Зеленый луг), «удовлетворительное» – древесной

растительности на территории ТП № 4 (район ул. Куйбышева), ТП № 8 (микрорайон Чижовка), ТП № 10 (микрорайон Курасовщина), ТП № 11 (микрорайон Серебрянка).



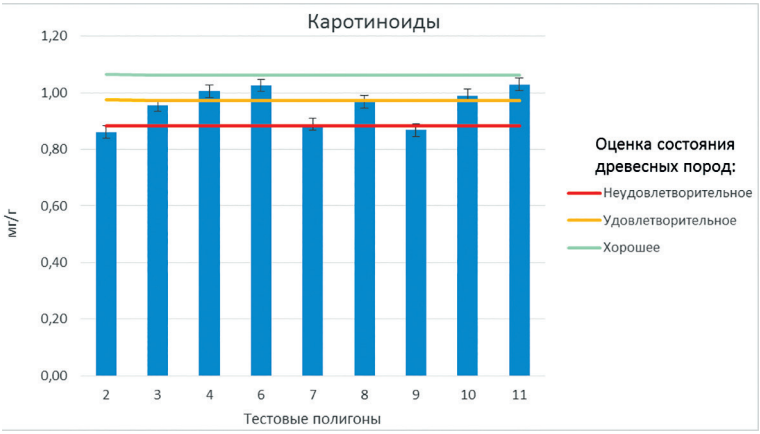
А



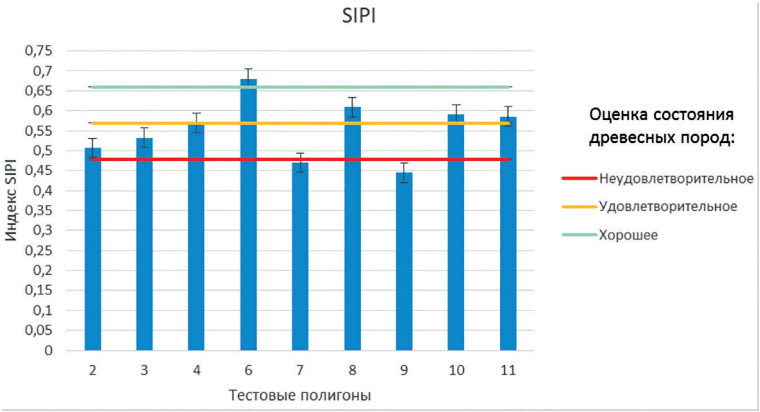
Б

Рис. 3. Средние показатели содержания хлорофилла *a* и значения вегетационного индекса NDVI древесных насаждений на тестовых полигонах (ТП) (территориальное расположение ТП указано в табл. 1)

Fig. 3. Average values of chlorophyll *a* content (A) and NDVI (Б) of wood stands on the test sites (territorial location of TS is indicated at tabl. 1)



А



Б

Рис. 4. Средние показатели содержания каротиноидов (А) и значения вегетационного индекса SIPI (Б) у древесных насаждений на тестовых полигонах (ТП) (территориальное расположение ТП указано в табл. 1)

Fig. 4. Average values of carotenoid content (A) and SIPI (Б) of wood planting on the test sites (territorial location of TS is indicated at tabl. 1)

Заключение. Результаты проведенных исследований по установлению корреляционной связи спектральных характеристик (вегетационных индексов) фотосинтезирующего комплекса листовой массы древес-

ных насаждений на территории г. Минска, полученных в процессе ДЗЗ, с данными синхронизированно выполненного на тех же объектах анализа фотосинтезирующих пигментов растений в ходе подспутниковых (наземных) исследований свидетельствуют о перспективности широкого применения технологий ДЗЗ для диагностики структуры, состояния и временной динамики растительности на урбанизированных территориях. При этом представляется актуальным при разработке в перспективе диагностических возможностей тематических классификаторов, используемых в технологии ДЗЗ, учитывать данные наземных исследований по специфике воздействия стрессовых факторов среды различной природы на фотосинтетический потенциал растений.

Литература

1. Генеральный план города Минска (корректировка). Основные положения градостроительного развития города Минска. Система градостроительных регламентов: утвержден Указом Президента Республики Беларусь 23.04.2003№ 165 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь 15.09.2016 №344). – Минск: «УП Минскградо», 2016. – 131 с.

2. Мониторинг растительного мира: результаты и перспективы / И.В. Бордок, [и др.] / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси им. В. Ф. Купревича (под общей ред. А.В.Пугачевского, А.В.Судника). – Минск: Беларус. навука, 2019. – 491 с.

3. Болезни и вредители декоративных растений в насаждениях Беларуси / В. А. Тимофеева [и др.]. Центральный ботанический сад НАН Беларуси. – Минск: Беларус. навука, 2014. – 185 с.

4. Атлас болезней лесных пород Беларуси / О. С. Гапиенко [и др.]. Мин-во лесного хозяйства Республики Беларусь. – Минск: Лесное и охотничье хозяйство, 2011. – 160 с.

5. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез: физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 320 с.

6. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. – М.: МГУЛ, 1998. Т. 1. – 193 с.

7. Слепых, А. А. Сезонная динамика содержания пигментов в листьях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на заповедных и техногенно загрязненных территориях Донбасса / А. А. Слепых / Ботаника (исслед.): сб. науч. тр. – Минск : Колорград, 2018.– Вып. 47. – С. 216 – 226.

8. Тужилкина, В. В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение / В. В. Тужилкина // Экология. – 2009. – № 4. – С. 243–248.

9. Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде / Л. М. Павлова [и др.] // Вестник РУДН, серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 2. – С. 11–19.

10. Эколого-физиологическая оценка устойчивости сеянцев сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea abies* (L.) Karst.) к засолению почвы хлоридом натрия / Б. И. Якушев [и др.] // Ботаника (исслед.): сб. науч. тр. / Ин-т эксперим. ботаники НАН Беларуси – Минск: Ин-т радиологии, 2016. – С. 240–254.

11. Кравчук, Л. А. Дифференцированная оценка инфраструктуры Минска с использованием данных дистанционного зондирования земли / Л. А. Кравчук [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 152–156.

12. Максимов, М. М. Использование данных дистанционного зонирования Земли для временного анализа пространственной дифференциации и состояния зеленых зон г. Минска за период с 1997 по 2015 г. / М. М. Максимов, А. С. Скачкова, Д. М. Курлович // Земля Беларуси. – 2016. – № 4. – С. 42–44.

13. Remote sensing of urban and suburban areas ; eds. T. Rashed, C. Jürgens. – Springer Netherlands, 2010. – 352 p. – Mode of access : http://bookre.org/reader?file=1219945. – Date of access: 25.04.2018.

14. Blackburn, G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments / G. A. Blackburn // Journal of experimental botany. – 2006. – Vol. 58, №. 4. – P. 855–867.

15. Ustin, S. L. Remote sensing of plant functional types / S. L. Ustin, J. A. Gamon // New Phytologist. – 2010. – Vol. 186. – P. 795–816.

16. Gitelson, A. A. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS / A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, M. N. Merzlyak // Remote sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58, №. 3. – P. 289–298.

17. Sentinel-2 Toolbox. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: http://step.esa.int/main/toolboxes/sentinel-2- toolbox. – Date of access: 21.02.2019.

18. Sentinel 2 EO products [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access: https://www.sentinel-hub.com/develop/ documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts. – Date of access: 25.04.2018.

19. Serrano, L. Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content / L. Serrano // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – Vol. 29, iss. 17–18. – P. 5265–5274.

20. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – 1971. – С. 154–171.

21. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск:Высшая школа, 1973. – 320 с.

Поступила в редакцию 02.11.2021 г.

УДК 630*116;630*237;630*26;630*385;502.175

А. В. СУДНИК[1], И. М. СТЕПАНОВИЧ[1], Н. В. ТОЛКАЧЕВА[2],
Р. М. ГОЛУШКО[1], А. М. ПОТАПЕНКО[2], А. Ю. КОМАР[1],
И. А. МАШКОВ[2], В. А. СЕРЕНКОВА[2], О. В. СОЗИНОВ[3]

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ С ИЗМЕНЕННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ БЕЛАРУСИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

[1]*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: asudnik@tut.by*
[2]*Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, e-mail: formelior@tut.by*
[3]*Гродненский государственный университет имени Я. Купалы, Гродно, Беларусь, e-mail: ledum@list.ru*

Аннотация. Проведена инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде Беларуси включая земли, осушенные гидролесомелиоративными системами, построенными в 1950–1990 годах, а также переданные в лесной фонд выработанные торфяники, сельскохозяйственные и другие осушенные земли. Дана экологическая оценка состояния и эффективности использования земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде (находящемся под управлением Минлесхоза). Всего на территории 102 юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, обследовано 927 участков лесного фонда с измененным гидрологическим режимом общей площадью 455 960,7 гектар. Для каждого из обследованных участков с измененным гидрологическим режимом разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования на основании комплексной оценки экологической эффективности.

Ключевые слова: земли с измененным гидрологическим режимом, лесной фонд, инвентаризация, экологическая оценка, рекомендации, устойчивое использование

A. V. SUDNIK[1], I. M. STEPANOVICH[1], N. V. TOLKACHEVA[2],
R. M. GOLUSHKO[1], A. M. POTAPENKO[2], A. Y. KOMAR[1],
I. A. MASHKOV[2], V. A. SERENKOVA[2], O. V. SOSINOV[3]

RESULTS OF ECOLOGICAL ASSESSMENT OF LANDS WITH CHANGED HYDROLOGICAL REGIME IN FOREST FUND OF BELARUS AND PROPOSALS FOR THEIR USE

[1]*B. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: asudnik@tut.by*
[2]*Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus, e-mail: formelior@tut.by*
[3]*Grodno Ya. Kupala State University, Belarus, e-mail: ledum@list.ru*

Annotation. An inventory of lands with changed hydrological regime in forest fund of Belarus, including drained lands with forest hydro ameliorative systems which were built in 1950–1990, the developed peatlands, agricultural and other meliorated lands transferred to the forest fund was carried out. An ecological assessment of the state and efficiency of use of the lands with changed hydrological regime in the forest fund were given. In total, 927 plots of forest fund

with changed hydrological regime with a total area of 455,960.7 hectares were surveyed on the territory of 102 forestry enterprises. Recommendations on the directions of their further use based on a comprehensive assessment of ecological efficiency were developed for each plots of lands with changed hydrological regime.

Keywords: lands with changed hydrological regime, forest fund, inventory, ecological assessment, recommendations, sustainable use

Введение. В 2017 г. в Республике Беларусь стартовал проект международной технической помощи ПРООН-ГЭФ № 96096 «Устойчивое управление лесными и водно-болотными экосистемами для достижения многоцелевых преимуществ» (зарегистрирован в Министерстве экономики Республики Беларусь 02.11.2017 № 2/17/000848). Одна из задач проекта – «Предотвращение деградации заболоченных лесов в результате: комплексной инвентаризации и разработки механизма принятия решений по управлению осушенными и деградировавшими заболоченными лесами по всей стране». В рамках проекта планировалось провести инвентаризацию земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом, включая земли с мелиоративными системами, построенными в 1950–1990 годах, оценить состояние осушенных и нарушенных лесных болот, и на основе специально разработанных параметров подготовить предложения по дальнейшему использованию таких земель: восстановление осушительных систем для повышения продуктивности лесов; реабилитация не эффективно осушенных лесных болот путем регулирования уровней воды для предупреждения пожаров и другие.

Материалы и методы исследования. Земли с измененным гидрологическим режимом – осушенные и деградировавшие в результате изменения гидрологического режима заболоченные леса. В 2018 г. разработаны и апробированы методики экологической оценки земель с измененным гидрологическим режимом, эффективности их использования с учетом влияния на лесные и болотные экосистемы (биоразнообразие, продуктивность, состояние и пр.). Основной принцип работ сводился к тому, что оценка эффективности должна проводиться по немногочисленным простым и недорогим в определении параметрам, используемым для оценки тенденций и трендов в развитии болотных и лесоболотных экосистем, а также особенностей пространственного проявления этих процессов на лесных землях с измененным гидрологическим режимом. Практической целью работ являлось определение параметров состояния экосистем, доминирующей растительности и степени ее нарушенности, компонентов растительного и животного мира, биоразнообразия, продуктивности нарушенных и естественных экосистем, развивающихся под длительным влиянием мелиорации.

В программу работ входили:

– закладка пунктов наблюдений в натуре;

– оценка состояния и продуктивности экосистем (методами фитоиндикации);

– оценка степени угроз биоразнообразию;

– оценка состояния каналов и других гидротехнических сооружений;

– прогноз состояния земель с измененным гидрологическим режимом и предложения по их использованию.

К землям с измененным гидрологическим режимом относилась и была обследована часть земель лесного фонда, где на планшетах, планах лесонасаждений и космоснимках была изображена сеть каналов и часть прилегающих сопредельных лесов, где влияние осушения было подтверждено полевым обследованием. В ходе полевого обследования на каждый обследованный объект (участок) составлялся паспорт. Название – название лесхоза, лесничества и перечень кварталов с участками с измененным гидрологическим режимом.

Результаты и их обсуждение. В 2018-2020 годах Институтом экспериментальной ботаники имени В.Ф.Купревича НАН Беларуси совместно с Институтом леса НАН Беларуси проведена комплексная инвентаризация участков лесного фонда с измененным гидрологическим режимом, включая земли, осушенные гидролесомелиоративными системами, построенными в 1950-1990 годах, а также переданные в лесной фонд выработанные торфяники, сельскохозяйственные и другие осушенные земли (табл. 1). Дана экологическая оценка состояния и эффективности использования земель с измененным гидрологическим режимом в лесном фонде (находящемся под управлением Минлесхоза), подготовлены и согласованы с ГЛХУ предложения по их дальнейшему использованию.

Площадь земель лесного фонда, находящихся в хозяйственном использовании Брестского ГПЛХО, составляет 1 264,9 тыс. га. В состав Брестского ГПЛХО входят 14 лесохозяйственных учреждений. В 2020 г. проведена комплексная инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом на территории Брестского ГПЛХО. Общая площадь земель с измененным гидрологическим режимом на территории 14 лесхозов ГПЛХО составила 75 369,2 га (5,96% земель лесного фонда), и включала 124 объекта (табл. 1, рис. 1). Наибольшие площади отмечены в Полесском, Ивацевичском и Лунинецком лесхозах.

Лесной фонд, находящийся в ведении Витебского ГПЛХО составляет 1 668,8 тыс. га, в том числе покрытых лесом – 1 453,1 тыс. га. В состав Витебского ГПЛХО входят 19 лесохозяйственных учреждений. В 2020 г. проведена комплексная инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом на территории Витебского ГПЛХО и Учебно-опытного лесхоза филиала БГТУ Полоцкий государственный лесной колледж. Общая площадь обследованных земель с измененным гидрологическим режимом на территории 20 лесхозов Витебской области составила 110032,7 га (6,59% земель лесного фонда), и включала в себя 264 объекта (табл. 1, рис. 1). Наибольшие площади отмечены в Дисненском, Поставском и Глубокском опытном лесхозах.

Table 1. General information about surveyed lands of the forest fund with changed hydrological regime in the context of SPFA and forest enterprises

Forest enterprise	Total area of forest enterprises, ha	Quantity of surveyed lands of the forest fund with changed hydrological regime			
		Area, ha	Quantity, pcs	Share of area of enterprises, %	Density, ha/1000 ha

Таблица 1. Общая информация о количестве обследованных земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом в разрезе ГПЛХО и лесхозов

Лесхоз	Общая площадь лесхоза, га	Количестве обследованных земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом			
		Площадь, га	Количество, шт	Доля от площади лесхоза, %	Плотность, га/1000 га
1	2	3	4	5	6
Брестское ГПЛХО					
Барановичский	91 779,0	1 879,8	4	2,05	20,5
Брестский	78 159,5	376,5	4	0,48	4,8
Ганцевичский	108 786,5	7 083,0	13	6,51	79,0
Дрогичинский	58 259,7	6 988,7	17	12,00	110,6
Ивацевичский	104 506,5	13 435,1	14	12,86	124,2
Кобринский оп.	73 843,9	2 869,1	14	3,89	42,6
Лунинецкий	145 378,6	10 487,2	17	7,21	95,4
Ляховичский	53 956,1	6 671,2	5	12,36	104,0
Малоритский	76 696,8	1 370,1	5	1,79	11,8
Пинский	91 925,3	2 804,1	9	3,05	44,6
Полесский	105 885,0	16 040,9	7	15,15	126,6
Пружанский	76 306,1	691,0	2	0,91	8,9
Столинский	94 433,0	3 241,5	7	3,43	40,7
Телеханский	104 938,4	1 431,0	6	1,36	11,1
ИТОГО	**1 264 854,4**	**75 369,2**	**124**	**5,96**	**59,6**
Витебское ГПЛХО					
Бегомльский	74314,8	5435,8	15	7,31	73,1
Бешенковичский	54951,4	2923,0	11	5,32	53,2
Богушевский	74457,0	3838,4	17	5,16	51,6
Верхнедвинский	105701,2	7018,1	11	6,64	66,4
Витебский	75681,0	4371,7	14	5,78	57,8
Глубокский	51798,0	8526,9	21	16,46	164,6
Городокский	147044,0	8980,9	16	6,11	61,1
Дисненский	102215,0	13789,4	23	13,49	134,9
Дретунский	55976,5	1791,3	2	3,20	32,0
Лепельский	93651,6	6186,9	21	6,61	66,1

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Лиозненский	71760,3	1852,3	5	2,58	25,8
Оршанскій	85410,0	5335,1	14	6,25	62,5
Полоцкий	123280,0	4642,9	17	3,77	37,7
Полоцкий УО	10709,7	133,6	2	1,25	12,5
Поставский	92979,0	9723,8	19	10,46	104,6
Россонский	152570,8	7099,9	12	4,65	46,5
Суражский	84919,6	1040,8	4	1,23	12,3
Толочинский	59315,0	5553,5	16	9,36	93,6
Ушачский	73485,5	3504,0	10	4,77	47,7
Шумилинский	78557,0	8284,4	14	10,55	105,5
ИТОГО	**1668777,4**	**110032,7**	**264**	**6,59**	**65,9**
Гомельское ГПЛХО					
Буда-Кошелевский	52439	1433,8	3	2,73	27,3
Василевичский	90078	4719,1	11	5,24	52,4
Ветковский	102930	1936,7	4	1,88	18,8
Гомельский	116656	1278,0	4	1,10	11,0
Ельский	88206	571,7	3	0,65	6,5
Житковичский	117768	1818,7	2	1,54	15,4
Жлобинский	80127	2691,1	16	3,36	33,6
Калинковичский	102843	1462,1	11	1,42	14,2
Комаринский	46880	1523,1	3	3,25	32,5
Лельчицкий	121128	3623,7	12	2,99	29,9
Лоевский	44717	148,0	1	0,33	3,3
Милошевичский	102654	1764,4	8	1,72	17,2
Мозырский	96830	1099,0	6	1,13	11,3
Наровлянский	66942	226,1	1	0,34	3,4
Октябрьский	85668	1342,8	11	1,57	15,7
Петриковский	127693	3234,6	9	2,53	25,3
Речицкий	66160	198,8	1	0,30	3,0
Рогачевский	77969	2355,0	8	3,02	30,2
Светлогорский	104790	4091,4	11	3,90	39,0
Хойникский	64756	5957,5	11	9,20	92,0
Чечерский	104432	1337,7	6	1,28	12,8
ИТОГО	**1861666,0**	**42813,3**	**142**	**2,30**	**23,0**
Гродненское ГПЛХО					
Волковыский	62 418,0	620,5	5	0,99	9,9
Гродненский	57 621,5	181,8	1	0,32	3,2
Дятловский	84 250,4	28,2	1	0,03	0,3
Ивьевский	87 476,0	5315,1	13	6,08	60,8

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
Лидский	105 283,0	9048,4	15	8,59	85,9
Новогрудский	98 755,0	5041,2	7	5,10	51,0
Островецкий	86 356,6	2652,7	7	3,07	30,7
Скидельский	54 868,0	4428,5	4	8,07	80,7
Слонимский	65 040,6	388,9	1	0,60	6,0
Сморгонский	111 774,0	6551,0	17	5,86	58,6
Щучинский	101 867,0	883,1	2	0,87	8,7
ИТОГО	**915710,1**	**35139,4**	**73**	**3,84**	**38,4**
Минское ГПЛХО					
Березинский	108730,0	8165,2	16	7,51	75,1
Борисовский оп.	150752,1	12394,9	17	8,22	82,2
Боровлянский спец.	23133,2	–	–	–	–
Вилейский оп.	92141,0	7652,3	15	8,30	83,0
Воложинский оп.	83807,0	19431,0	12	23,19	231,9
Клецкий	39659,0	2362,1	16	5,96	59,6
Копыльский оп.	35527,2	3804,4	10	10,71	107,1
Крупский	99992,0	6357,9	14	6,36	63,6
Логойский	115297,4	2421,9	7	2,10	нет
Любанский	77302,9	6075,9	20	7,86	21,0
Минский	41046,0	1618,1	5	3,94	78,6
Молодечненский	49321,0	5355,3	3	10,86	39,4
Пуховичский	91430,0	21845,9	19	23,89	108,6
Слуцкий	61307,0	5740,8	13	9,36	238,9
Смолевичский	53169,0	8652,5	9	16,27	93,6
Старобинский	99850,0	17541,1	14	17,57	162,7
Стародорожский оп.	70514,0	2843,7	8	4,03	175,7
Столбцовский	89803,0	12735,5	10	14,18	40,3
Узденский	46980,0	4555,4	8	9,70	141,8
Червенский	73091,0	13217,9	16	18,08	97,0
Итого по ГПЛХО	***1502852,8***	***162771,8***	***232***	***10,83***	***180,8***
Красносельское	35452,0	834,7	3	2,35	23,5
Негорельский УО	17107,6	709,8	2	4,15	41,5
ИТОГО	**1555412,4**	**164316,3**	**237**	**10,56**	
Могилевское ГПЛХО					
Белыничский	94722,0	1041,1	7	1,10	11,0
Бобруйский	124949,0	1998,8	4	1,60	16,0
Быховский	111848,8	4722,8	11	4,22	42,2
Глусский	76251,7	4006,9	15	5,25	52,5
Горецкий	69818,5	324,1	1	0,46	4,6

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6
Климовичский	93962,8	–	–	–	–
Кличевский	107096,0	3393,7	4	3,17	31,7
Костюковичский	95103,0	2451,5	9	2,58	25,8
Краснопольский	82895,6	152,2	2	0,18	1,8
Могилевский	87692,0	871,6	10	0,99	9,9
Осиповичский	105971,8	6527,2	16	6,16	61,6
Чаусский	65481,0	–	–	–	–
Чериковский	110132,0	2799,9	8	2,54	25,4
ИТОГО	**1225924,2**	**28289,8**	**87**	**2,31**	**23,1**
ВСЕГО по ГЛФ	**8524662,5**	**455960,7**	**927**	**5,35**	**53,5**

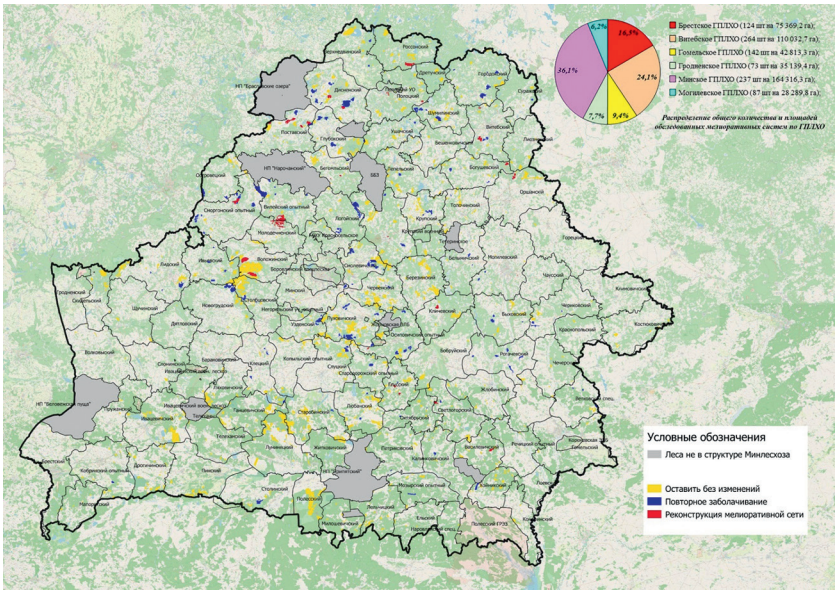


Рис. 1. Карта-схема земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом и рекомендациями по направлениям их дальнейшего использования

Fig. 1. Map-scheme of forest fund lands with changed hydrological regime and recommendations on the directions of their further use

Площадь земель лесного фонда, находящихся в хозяйственном использовании Гомельского ГПЛХО, составляет 1864,9 тыс. га, в том числе покрытая лесом 1606,5 тыс. га. В состав Гомельского ГПЛХО входят 21 лесохозяйственное учреждение. В 2018–2019 гг. проведена комплексная

Table 2. Recommendations on the directions of use of lands
with changed hydrological regime on territory of the forest fund of the Ministry of Forestry

Forest enterprise	Area of lands with changed hydrological regime, ha								
	Total area	Features when assigning recommendation		Recommendations and suggestions					
				Reconstruction of melioration network located on protected area	re-waterlogging		forsake without changing		
		LSSW at the soil level or higher	located on protected area		based on the results of the field survey	in the list (Resolution № 18 of 17.09.2020)	In total	Control of activites of beaver	melioration networks are subject to write-off

Таблица 2. Рекомендации по направлениям использования земель
с измененным гидрологическим режимом на территории лесного фонда Минлесхоза

Лесхоз	Площадь земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом, га								
	Общая площадь	Особенности при назначении рекомендаций		Рекомендации и предложения					
				Реконструкция сети расположены на ООПТ	Повторное заболачивание		Оставить без изменений		
		УСБВ на уровне почвы или выше	располо-жены на ООПТ		по резуль-татам поле-вого обсле-дования	в перечне (постановлен. от 17.09.2020 № 18)	Всего	контроль деятельно-сти бобра	мелиора-тивные сети подлежат списанию
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Брестское ГПЛХО									
Барановичский	1 879,8	1879,8	–	–	–	828,0	1879,8	–	–
Брестский	376,5	82,8	120,3	–	–	–	376,5	–	256,2
Ганцевичский	7 083,0	2225,3	219,7	–	619,7	1066,2	6463,3	–	–
Дрогичинский	6 988,7	4534,1	2075,5	–	–	540,9	6988,7	1412,4	1073,7
Ивацевичский	13 435,1	1251,3	8931,8	–	–	2469,6	13435,1	–	207,4
Кобринский опыт.	2 869,1	745,3	246,3	–	243,3	–	2625,8	–	1407,8

Лунинецкий	10 487,2	5360,5	4311,2	–	–	–	10487,2	–	5083,9
Ляховичский	6 671,2	6083,3	–	–	–	5256,6	6671,2	–	–
Малоритский	1 370,1	–	181,0	–	–	–	1370,1	–	–
Пинский	2 804,1	342,2	931,1	–	–	–	2804,1	–	487,1
Полесский	16 040,9	13975,5	16040,9	–	–	–	16040,9	630,9	–
Пружанский	691,0	–	490,0	–	201,0	201,0	490,0	–	–
Столинский	3 241,5	1138,1	457,0	–	799,2	1673,4	2442,3	–	–
Телеханский	1 431,0	517,2	–	–	–	–	1431,0	231,0	913,8
Всего, га	***75369,2***	***38135,4***	***34004,8***	***0,0***	***1863,2***	***12035,7***	***73506,0***	***2274,3***	***9429,9***
%		***50,60***	***45,12***	***0,00***	***2,47***	***15,97***	***97,53***	***3,02***	***12,51***
Витебское ГПЛХО									
Бегомльский	5435,8	5125,4	3564,0	217,0	–	359,0	5218,8	–	–
Бешенковичский	2923,0	534,7	159,9	–	–	–	2923,0	–	402,4
Богушевский	3838,4	644,7	564,1	459,1	767,1	564,1	2612,2	156,6	–
Верхнедвинский	7018,1	6291,7	5233,3	–	693,5	308,4	6324,6	44,9	32,9
Витебский	4371,7	1809,5	–	960,9	807,0	–	2603,8	–	–
Глубокский опыт.	8526,9	2115,8	636,2	–	3117,2	3646,0	5409,7	378,8	–
Городокский	8980,9	3043,4	925,8	–	3829,9	–	5151,0	417,1	968,2
Дисненский	13789,4	5689,7	5911,6	1332,6	5348,7	796,2	7108,1	1944,8	796,2
Дретунский	1791,3	–	–	–	–	–	1791,3	–	1791,3
Лепельский	6186,9	1912,2	–	–	95,3	459,9	6091,6	–	794,1
Лиозненский	1852,3	1607,7	–	–	–	–	1852,3	–	–
Оршанскій	5335,1	3706,6	3754,3	752,6	–	–	4582,5	–	–
Полоцкий	4642,9	1727,1		641,3	–	157,0	4001,6	1786,0	–
Полоцкий УО	133,6	–	–	–	–	–	133,6	–	133,6
Поставский	9723,8	3456,3	3563,7	3069,9	1567,0	–	5086,9	–	834,7

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Россонский	7099,9	2697,8	2086,6	1529,6	–	–	5570,3	185,2	587,7
Суражский	1040,8	26,4	–	–	249,0	249,0	791,8	–	765,4
Толочинский	5553,5	2940,8	–	–	85,6	–	5467,9	–	–
Ушачский	3504,0	–	–	–	334,3	–	3169,7	–	–
Шумилинский	8284,4	3589,7	324,5	–	2736,2	237,9	5548,2	–	–
Всего, га	***110032,7***	***46919,5***	***26724,0***	***8963,0***	***19630,8***	***6777,5***	***81438,9***	***4913,4***	***7106,5***
%		***42,64***	***24,29***	***8,15***	***17,84***	***6,16***	***74,01***	***4,47***	***6,46***
Гомельское ГПЛХО									
Буда-Кошелевский	1433,8	–	–	–	–	1102,0	1433,8	–	–
Василевичский	4719,1	3370,1	–	710,5	–	1613,6	4008,6	–	–
Ветковский	1936,7	1060,2	–	–	876,5	876,5	1060,2	–	–
Гомельский	1278,0	359	359,0	–	–	–	1278	–	–
Ельский	571,7	301,1	–	–	–	–	571,7	301,1	301,1
Житковичский	1818,7	1726,9	1726,9	–	–	1726,9	1818,7	–	–
Жлобинский	2691,1	1498,5	–	–	–	714,9	2691,1	–	–
Калинковичский	1462,1	220,9	–	–	335,9	335,9	1126,2	–	–
Комаринский	1523,1	231,8	–	–	–	–	1523,1	1192,3	–
Лельчицкий	3623,7	832,6	–	–	–	–	3623,7	355,4	–
Лоевский	148,0	–	–	–	–	–	148	–	–
Милошевичский	1764,4	1020,9	971,5	–	–	–	1764,4	–	179,6
Мозырский	1099,0	860,6	260,3	–	494,4	494,4	604,6	–	260,3
Наровлянский	226,1	–	–	–	–	–	226,1	–	–
Октябрьский	1342,8	623	–	–	236,9	163,6	1105,9	65,7	–
Петриковский	3234,6	571,6	–	–	171,1	–	3063,5	571,6	–
Речицкий	198,8	–	–	–	–	–	198,8	–	–
Рогачевский	2355,0	1081	–	–	2223,5	2223,5	131,5	–	–

Светлогорский	4091,4	3158,3	133,2	499,1	109,4	2983,1	3482,9	1049,1	–
Хойникский	5957,5	3071,4	–	–	1051,0	2503,8	4906,5	–	–
Чечерский	1337,7	731	–	–	–	157,0	1337,7	198,2	–
Всего, га	***42813,3***	***20718,9***	***3450,9***	***1209,6***	***5498,7***	***14895,2***	***36105,0***	***3733,4***	***741,0***
%		***48,39***	***8,06***	***2,83***	***12,84***	***34,79***	***84,33***	***8,72***	***1,73***
Гродненское ГПЛХО									
Волковыский	620,5	201,5	137,2	–	–	211,0	620,5	–	–
Гродненский	181,8	–	–	–	–	–	181,8	–	–
Дятловский	28,2	28,2	–	–	–	–	28,2	–	–
Ивьевский	5315,1	177,3	4020,9	–	704,3	906,6	4610,8	–	231,3
Лидский	9048,4	7607,6	2999,6	–	1440,8	2310,3	7607,6	3161,6	–
Новогрудский	5041,2	4574,1	4574,1	–	3055,6	3474,9	1985,6	–	–
Островецкий	2652,7	1381,8	–	–	1270,9	1466,6	1381,8	1381,8	–
Гродненский	181,8	–	–	–	–	–	181,8	–	–
Дятловский	28,2	28,2	–	–	–	–	28,2	–	–
Ивьевский	5315,1	177,3	4020,9	–	704,3	906,6	4610,8	–	231,3
Лидский	9048,4	7607,6	2999,6	–	1440,8	2310,3	7607,6	3161,6	–
Новогрудский	5041,2	4574,1	4574,1	–	3055,6	3474,9	1985,6	–	–
Островецкий	2652,7	1381,8	–	–	1270,9	1466,6	1381,8	1381,8	–
Скидельский	4428,5	3852,9	–	–	–	–	4428,5	2293,9	–
Слонимский	388,9	–	–	–	–	–	388,9	–	–
Сморгонский	6551,0	2129,8	–	490,1	4436,2	3995,7	1624,7	131,9	–
Щучинский	883,1	–	–	–	–	274,9	883,1	–	–
Всего, га	***35139,4***	***19953,2***	***11731,8***	***490,1***	***10907,8***	***12640,0***	***23741,5***	***6969,2***	***231,3***
%		***56,78***	***33,39***	***1,39***	***31,04***	***35,97***	***67,56***	***19,83***	***0,66***
Минское ГПЛХО									
Березинский	8165,2	2331,8	2780,0	–	–	–	8165,2	1872,3	542,9

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Борисовский	12394,9	2281,2	5306,6	160,6	2716,1	2716,1	9518,2	1862,7	–
Боровлянский спец.	нет	–	–	–	–	–	–	–	–
Вилейский	7652,3	1640,1		2330,7	3320,4	2659,0	2001,2	199,2	–
Воложинский	19431,0	9537,3	16645,2	2574,6	–	–	16856,4	–	801,5
Клецкий	2362,1	–	98,2	–	946,7	1001,4	1415,4	–	–
Копыльский	3804,4	399,2	368,6	–	–	–	3804,4	–	1532,7
Крупский	6357,9	3999,7	–	–	937,1	1448,1	5420,8	605,8	68,6
Логойский	2421,9	392,3	–	–	1644,0	1644,0	777,9	197,7	385,6
Любанский	6075,9	–	–	–	179,4	12,0	5896,5	–	1717,2
Минский	1618,1	288,0	–	–	619,0	872,0	999,1	–	–
Молодечненский	5355,3	1423,7	–	3931,6	–	–	1423,7	–	–
Пуховичский	21845,9	6684,6	7497,0	–	5144,1	10116,1	16701,8	131,0	5026,8
Слуцкий	5740,8	157,7	943,0	–	881,9	1963,1	4858,9	157,7	587,0
Смолевичский	8652,5	2216,1	1630,4	–	3483,2	3483,2	5169,3	–	2434,2
Старобинский	17541,1	6780,2	–	–	152,8	–	17388,3	–	–
Стародорожский	2843,7	189,4	295,7	–	259,3	259,3	2584,4	189,4	–
Столбцовский	12735,5	147,2	10263,6	–	1048,0	1872,9	11687,5	13,7	563,8
Узденский	4555,4	1895,9	–	–	2020,4	3559,9	2535,0	180,6	485,5
Червенский	13217,9	3895,7	–	–	440,1	5973,4	12777,8	933,0	1924,6
ИТОГО по ГПЛХО	162771,8	44260,1	45828,3	8997,5	23792,5	37580,5	129981,8	6343,1	16070,4
Красносельское	834,7	401,8	–	–	–	–	834,7	–	215,8
Негорельский УО	709,8	709,8	–	–	–	–	709,8	78,0	–
Всего, га	***164316,3***	***45371,7***	***45828,3***	***8997,5***	***23792,5***	***37580,5***	***131526,3***	***6421,1***	***16286,2***
%		***27,61***	***27,89***	***5,48***	***14,48***	***22,87***	***80,04***	***3,91***	***9,91***

Могилевское ГПЛХО									
Белыничский	1041,1	–	–	–	466,0	539,0	575,1	–	–
Бобруйский	1998,8	1998,8	406,9	–	–	578,6	1998,8	316,5	–
Быховский	4722,8	2961,4	230,7	–	482,9	1842,3	4239,9	–	–
Глусский	4006,9	1027,6	–	665,2	108,6	1718,4	3233,1	431,1	–
Горецкий	324,1	324,1	–	–	–	–	324,1	–	–
Климовичский	нет	–	–	–	–	–	–	–	–
Кличевский	3393,7	2532,8	2512,2	696,1	–	2347,4	2697,6	–	–
Костюковичский	2451,5	1249,2	–	–	–	195,4	2451,5	–	–
Краснопольский	152,2	152,2	–	–	–	–	152,2	56,6	–
Могилевский	871,6	37,8	–	24,4	311,9	599,8	535,3	37,8	–
Осиповичский	6527,2	2688,7	–	229,7	2016,9	3045,9	4280,6	–	–
Чаусский	нет	–	–	–	–	–	–	–	–
Чериковский	2799,9	1187,8	–	–	493,9	2066,0	2306	402,3	–
Всего, га	***28289,8***	***14160,4***	***3149,8***	***1615,4***	***3880,2***	***12932,8***	***22794,2***	***1244,3***	***0,0***
%		***50,05***	***11,13***	***5,71***	***13,72***	***45,72***	***80,57***	***4,40***	***0,00***
ИТОГО, га	**455960,7**	**185259,1**	**124889,6**	**21275,6**	**65573,2**	**96861,7**	**369111,9**	**25555,7**	**33794,9**
%		**40,63**	**27,39**	**4,67**	**14,38**	**21,24**	**80,95**	**5,60**	**7,41**

инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом на территории Гомельского ГПЛХО. Общая площадь обследованных земель с измененным гидрологическим режимом на территории 21 лесхоза ГПЛХО составила 42 813,3 га (2,30% земель лесного фонда), и включает в себя 142 объекта (табл. 1, рис. 1). Наибольшие площади отмечены в Хойникском, Светлогорском и Жлобинском лесхозах.

Площадь земель лесного фонда, находящихся в хозяйственном использовании Гродненского ГПЛХО, составляет 915,7 тыс. га. В состав Гродненского ГПЛХО входят 11 лесохозяйственных учреждений. В 2019 г. проведена комплексная инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом на территории Гродненского ГПЛХО. Общая площадь обследованных земель с измененным гидрологическим режимом на территории 11 лесхозов ГПЛХО составила 35139,4 га (3,84% земель лесного фонда), и включает 73 объекта (табл. 1, рис. 1). Наибольшие площади отмечены в Ивьевском, Лидском и Сморгонском лесхозах.

Лесной фонд, находящийся в ведении Минского ГПЛХО составляет 1505,2 тыс. га, в том числе покрытая лесом – 1340,1 тыс. га. В состав Минского ГПЛХО входят 20 лесохозяйственных учреждений. В 2019 г. проведена комплексная инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом на территории Минского ГПЛХО и 2-х лесохозяйственный учреждений (ГЛХУ «Красносельское» и Филиал УО БГТУ «Негорельский опытный лесхоз». Общая площадь обследованных земель с измененным гидрологическим режимом на территории 22 лесхозов ГПЛХО составила 164316,3 га (10,56 % земель лесного фонда), и включала в себя 237 объектов (табл. 1, рис. 1). Наибольшие площади отмечены в Воложинском, Пуховичском и Старобинском лесхозах.

Лесной фонд, находящийся в ведении Могилевского ГПЛХО составляет 1228,2 тыс. га, в том числе покрытая лесом лесом площадь – 1078,2 тыс. га. В состав Могилевского ГПЛХО входят 13 лесохозяйственных учреждений. В 2019 г. проведена комплексная инвентаризация земель с измененным гидрологическим режимом на территории Могилевского ГПЛХО. Общая площадь обследованных земель с измененным гидрологическим режимом на территории 13 лесхозов ГПЛХО составила 28 289,8 га (2,31 %), и включает в себя 87 объектов (табл. 1, рис. 1). Наибольшее их количество представлено на территории Осиповичского, Глусского и Быховского лесхозов.

Таким образом, всего на территории 102 лесхозов было обследовано 927 участков лесного фонда с измененным гидрологическим режимом общей площадью 455 960,7 гектар. Для каждого из 927 обследованных на землях лесного фонда участков с измененным гидрологическим режимом разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования на основании комплексной оценки экологической и экономической эффективности, которые согласованы с лесхозами. Рекомендации сгруппированы в 3 основные категории: экологическая реабилитация, восстановление осушительных систем и оставление без изменений (табл. 2, рис. 1):

1. *Экологическая реабилитация путем повторного заболачивания*

Осуществляется поднятием воды в уровень поверхности почвы с восстановлением типичного для болот водного режима, растительного покрова и процесса торфообразования.

В целом, площадь земель с измененным гидрологическим режимом, рекомендуемых под повторное заболачивание, составила 65573,2 га или 14,38 % от обследованных (табл. 2), в том числе по областям: Брестская – 1863,2 га или 2,47 %; Витебская – 19630,8 га или 17,84 %; Гомельская – 5498,7 га или 18,84 %; Гродненская – 10907,8 га или 31,04 %; Минская – 23792,5 га или 14,48 %; Могилевская – 3880,2 га или 13,72 %.

Кроме того, постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 17 сентября 2020 . № 18 «Об установлении перечней болот и торфяников» установлен перечень болот, для которых разрабатываются планы управления болотами и перечень торфяников, подлежащих экологической реабилитации (во исполнение пункта 2 статьи 17 и пункта 2 статьи 35 Закона Республики Беларусь от 18 декабря 2019 г. № 272-З «Об охране и использовании торфяников»). Площадь земель с измененным гидрологическим режимом с болотами, для которых разрабатываются планы управления болотами, составила 9652,7 га; с торфяниками, которые подлежат экологической реабилитации – 90957,7 га; для которых одновременно разрабатываются планы управления и которые подлежат экологической реабилитации – 5904,0 га.

Таким образом, площадь земель с измененным гидрологическим режимом с торфяниками, рекомендуемых под повторное заболачивание в соответствии с постановлением Минприроды от 17.09.2021 №18, составила 96861,7 га или 21,24 % от обследованных (табл. 2, рис. 3), в том числе по областям: Брестская: 12035,7 га или 15,97 %; Витебская: 6777,5 га или 6,16 %; Гомельская: 14895,2 га или 34,79 %; Гродненская: 12640,0 га или 35,97 %; Минская: 37580,5 га или 22,87 %; Могилевская: 12932,8 га или 45,72 %.

Различие в площадях связано с тем, что в результате полевого обследования учитывались объекты с мелиорацией, а в соответствии с постановлением Минприроды от 17.09.2021 №18 – земли с и без мелиоративных систем, земли вне лесного фонда и прочие.

2. Восстановление осушительных систем для поддержания их эффективности и повышения продуктивности лесов

В целом, площадь земель с измененным гидрологическим режимом, рекомендуемых под восстановление мелиоративной сети, составила 21275,6 га или 4,67 % от обследованных (табл. 2, рис. 1), в том числе по областям: Брестская – 0,0 га или 0,00%; Витебская – 8963,0 га или 8,15 %; Гомельская – 1209,6 га или 2,83 %; Гродненская – 490,1 га или 1,39 %; Минская – 8997,5 га или 5,48 %; Могилевская – 1615,4 га или 5,71 %.

3. *Оставление без изменений*

Рекомендовано для всех остальных земель лесного фонда с измененным гидрологическим режимом (табл. 2, рис.1). При этом для назначения данной рекомендации выступали следующие аргументы:

3.1. *Территория затоплена в результате повторного заболачивания, УСБВ находится на уровне почвы или выше. Формируются водно-болотные угодья. При необходимости контроль численности бобра.*

Общая площадь земель с измененным гидрологическим режимом, где УСБВ в уровень почвы или выше, составила 185259,1 га или 50,19 % оставляемых без изменения земель или 40,63% всех обследованных земель с измененным гидрологическим режимом (табл. 2). Общая площадь земель с измененным гидрологическим режимом, где рекомендован контроль численности бобра, составила 25555,7 га или 6,92% оставляемых без изменения или 5,60% всех обследованных земель (табл. 2).

3.2. *Болотные типы леса трансформировались в суходольные. УГВ 50 см и ниже. Каналы не функционируют в результате падения УГВ, задернены, заросли древесно-кустарниковой растительностью. Как правило, такие мелиоративные сети рекомендованы к списанию.*

Общая площадь земель с измененным гидрологическим режимом, рекомендованных к списанию, составила 33794,9 га или 9,16 % оставляемых без изменения или 7,41 % всех обследованных земель (табл. 2).

3.3. *Лесхозами созданы лесные культуры в удовлетворительном или хорошем состоянии, или рекомендуется создание лесных культур.*

Общая площадь земель с измененным гидрологическим режимом, для которых рекомендовано лесовосстановление путем создания лесных культур, составила 4543,2 га или 1,23% оставляемых без изменения или 1,00% всех обследованных земель.

3.4. *Сукцессии направлены на восстановление болотной или лесоболотной экосистемы.*

Это категория участков представляет значительно продвинутую стадию восстановительной сукцессии (на уровне сформированной кустарниковой и лесной растительности) или участки с продуктивными черноольховыми и пушистоберезовыми древостоями.

3.5. *Мелиорированные земли расположены в границах ООПТ, где введены запреты на изменение гидрологического режима.*

Более четверти обследованных земель с измененным гидрологическим режимом с общей площадью 124889,6 га (27,39 % всех земель с измененным гидрологическим режимом) полностью или частично расположены на особо охраняемых природных территориях, как правило, гидрологических или водно-болотных заказниках местного или республиканского значения.

В целом, площадь земель с измененным гидрологическим режимом, рекомендуемых оставить без изменений, составила 369111,9 га или 80,95 % (табл. 2), в том числе по областям: Брестская – 73506,0 га или 97,53 %; Витебская – 81438,9 га или 74,01 %; Гомельская – 36105,0 га или 84,33 %; Гродненская – 23741,5 га или 67,56 %; Минская – 131526,3 га или 80,04 %; Могилевская – 22794,2 га или 80,57 %.

Заключение. В рамках проекта международной технической помощи ПРООН-ГЭФ № 96096 «Устойчивое управление лесными и водно-болотными экосистемами для достижения многоцелевых преимуществ»

проведена инвентаризация мелиоративных систем, построенных в 1950–1990 годах, переданных в лесной фонд выработанных торфяников, сельскохозяйственных и других мелиорированных земель. Дана экологическая оценка состояния и эффективности осушенных мелиоративными системами земель в лесном фонде (находящемся под управлением Минлесхоза). Всего на территории 102 лесхозов было обследовано 927 участков лесного фонда с измененным гидрологическим режимом общей площадью 455 960,7 гектар, в т.ч.:

– общая площадь на территории 14 лесхозов Брестского ГПЛХО составила 75 369,2 га или 5,96 % земель лесного фонда (124 объекта);

– общая площадь на территории 19 лесхозов Витебского ГПЛХО и Полоцкого учебно-опытного лесхоза составила 110 032,7 га или 6,59 % лесного фонда (264 объекта);

– общая площадь на территории 21 лесхоза Гомельского ГПЛХО составила 42 813,3 га или 2,30 % земель лесного фонда (142 объектов);

– общая площадь на территории 11 лесхозов Гродненского ГПЛХО составила 35 139,4 га или 3,84 % лесного фонда (73 объекта);

– общая площадь на территории 20 лесхоза Минского ГПЛХО и 2-х лесохозяйственных учреждений (ГЛХУ «Красносельское» и Филиал УО БГТУ «Негорельский опытный лесхоз») составила 164 316,3 га или 10,35 % лесного фонда (237 объектов);

– общая площадь на территории 13 лесхозов Могилевского ГПЛХО составила 28 289,8 га или 2,31 % земель лесного фонда (87 объектов).

Для каждой из обследованных на землях лесного фонда мелиоративных систем разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования на основании комплексной оценки экологической эффективности.

Для каждого из 927 обследованных на землях лесного фонда участков с измененным гидрологическим режимом разработаны рекомендации по направлениям дальнейшего их использования на основании комплексной оценки экологической и экономической эффективности. Отчеты и рекомендации переданы в лесхозы, получены согласования со всеми лесхозами.

Результаты работ будут использованы для совершенствования технологии экологической реабилитации нарушенных торфяников, принятия проектных, управленческих и директивных решений в области регулирования водного режима болот, восстановления и сохранения их естественного биологического и ландшафтного разнообразия и природных ресурсов, ведения устойчивого экологически ориентированного лесного хозяйства на землях с нарушенным гидрологическим режимом в лесном фонде и в строгом соответствии с лесным и природоохранным законодательством.

Поступила в редакцию 10.08.2021 г.

Микология и фитопатология

Mycology and Phytopathology

УДК 582. 282 (476)

Д. Б. БЕЛОМЕСЯЦЕВА[1], Т. Г. ШАБАШОВА[1],
М. Г. СИНЯВСКАЯ[2], В. Б. ЗВЯГИНЦЕВ[3]

ИНВАЗИВНЫЕ ВИДЫ ДЕНДРОПАТОГЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В МИКОБИОТЕ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ

[1]*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: tiniti@inbox.ru*
[2]*Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, e-mail: m.sin@inbox.ru*
[3]*Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, e-mail: zviagintsev@belstu.by*

Аннотация. В результате исследований микобиоты на территории юго-западной части Беларуси были выявлены инвазивные микромицеты: *Coleosporium* complex, *Cyclaneusma minus*, *Dothistroma septosporum*, *Erysiphe alphitoides*, *Erysiphe flexuosa*, *Gymnosporangium sabinae*, *Gymnosporangium tremelloides*, *Melampsoridium betulinum*, *Melampsoridium hiratsukanum*, *Passalora juniperina*, *Pestalotiopsis funerea*l, *Phyllosticta paviae*, *Phoma* complex, *Rhabdocline laricis*, *Sphaeropsis sapinea*. Молекулярно-генетическими методами были выявлены эндофитные микромицеты *Diaporthe eres*, *Nectria nigrescens*, *Neofabraea alba*, *Wettsteinina mirabilis*.

Ключевые слова: инвазивные виды, дендропатогены, микромицеты, эндофиты

D. B. BELOMESYATSEVA[1], T. G. SHABASHOVA[1],
M. G. SINYAVSKAYA[2], V. B. ZVYAGINTSEV[3]

INVASIVE DENDROPATHOGENIC MICROMYCETES IN THE MICOBIOTA OF SOUTHWEST BELARUS

[1]*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: tiniti@inbox.ru*
[2]*Institute of Genetics and Cytology, NAS of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: m.sin@inbox.ru*
[3]*Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, e-mail: zviagintsev@belstu.by*

Annotation. As a result of the research, invasive micromycetes were identified: *Coleosporium* complex, *Cyclaneusma minus*, *Dothistroma septosporum*, *Erysiphe alphitoides*, *Erysiphe flexuosa*, *Gymnosporangium sabinae*, *Gymnosporangium tremelloides*, *Melampsoridium betulinum*, *Melampsoridium hiratsukanum*, *Passalora juniperina*, *Pestalotiopsis funereal*, *Phyllosticta paviae*, *Phoma* complex, *Rhabdocline laricis*, *Sphaeropsis sapinea*. Endophytic micromycetes *Diaporthe eres*, *Nectria nigrescens, Neofabraea alba*, *Wettsteinina mirabilis* were identified by molecular genetic methods.

Keywords: invasive species, dendropathogens, micromycetes, endophytes.

Введение. В списках опасных для лесных экосистем карантинных видов в странах Европейского союза, России и Украины обозначен 41 вид грибных патогенов, 40 видов насекомых и 1 вид нематод. Угроза проникновения этих видов на территорию Беларуси весьма высока [1, 2, 4–10].

В Беларуси только в условиях Минской возвышенности выявлено 84 вида инвазивных фитопатогенных микромицетов, что составило 17 % от всех известных на этой территории патогенов [7, 8]. Многие инвайдеры сформировали вторичные ареалы и оказывают существенное влияние на состояние и устойчивость лесов отдельных формаций.

Одной из важнейших проблем лесной фитопатологии стало развитие суховершинности ясеня, вызываемой инвазивным аскомицетом *Hymenoscyphus fraxineus* Baral et al. Под воздействием этой болезни площадь ясеневых насаждений страны за последние 13 лет уменьшилась более чем наполовину и продолжает сокращаться [10]. В 2014 году на территории республики впервые выявлен опасный патоген ольхи *Phytophthora alni* Brasier et S.A. Kirk. Его распространенность и вредоносность в лесах республики до настоящего времени полноценно не изучены.

Сложившаяся ситуация требует постоянного мониторинга и углубленного изучения инвазивных видов дендропатогенных организмов и путей их проникновения в биогеоценозы.

На основе результатов проведенных исследований составлен предварительный список инвазивных патогенных видов микромицетов, выявленных в юго-западной части Беларуси.

Материалы (объекты) и методы исследования. Объектами исследования являлись микромицеты, развивающиеся на древесных породах на территории Брестской области Беларуси. Сбор гербарных образцов проводился в 2019–2021 гг. в Бугско-Полесском и Неманско-Предполесском геоботанических округах, в т. ч. на территории НП «Беловежская пуща» (в Каменецком и Пружанском районах), на территории Республиканского ландшафтного заказника «Прибужское Полесье» (в Малоритском районе), также материал собирался в лесных и парковых насаждениях Брестского, Березовского, Барановичского районов (рис. 1).

Микофлористические обследования проводились выборочными методами. Материал гербаризировался по стандартным методикам [3].

Диагностика проводилась по анатомо-морфологическим и культуральным признакам методом световой микроскопии. Дополнительное молекулярно-генетическое исследование гербарного материала осуществлялось на базе Лаборатории нехромосомной наследственности Института генетики и цитологии НАН Беларуси. Собранные образцы грибов находятся на хранении в микологическом гербарии MSK-F ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича».

Результаты и их обсуждение. На настоящий момент нами идентифицирован и гербаризирован 91 вид микромицетов, развивающихся на древесных породах (на листьях, коре, древесине, а также древесном опаде). Таксономически все изученные деревообитающие виды микромицетов являются аскомицетами, из них 52 вида представляют собой телеоморфы

и 39 видов относятся к грибам в анаморфной стадии. Средняя видовая насыщенность родов – 1–2 вида. Наибольшее видовое разнообразие наблюдается в роде *Hypoxylon* Bull. – 6 видов.

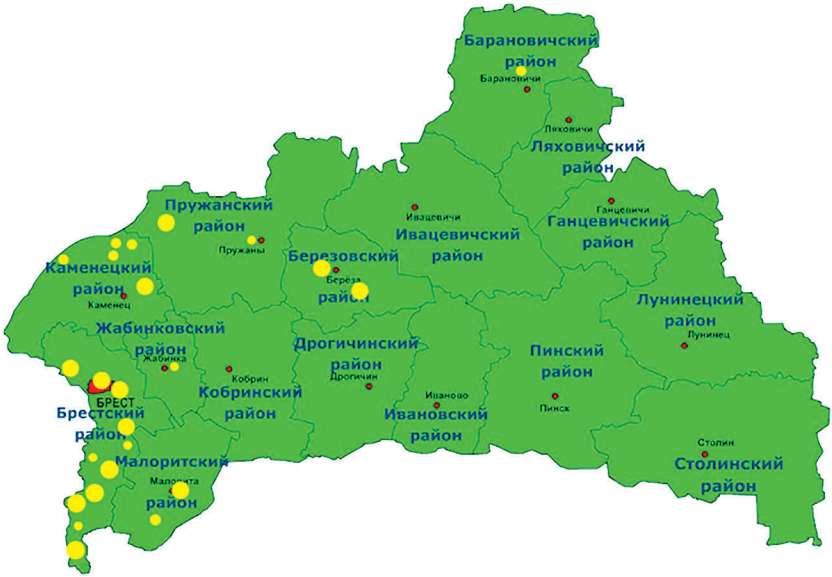


Рис. 1. Места проведения исследований в Брестской области в течение полевых сезонов 2019–2020 гг. (желтые точки)

Fig. 1. Locations of research in the Brest region during the field seasons 2019–2020 (yellow dots)

Аскомицеты в телеоморфной стадии представлены четырьмя классами: *Dothideomycetes* (15), *Sordariomycetes* (21), *Leotiomycetes* (16), *Pezizomycetes* (1) и пятнадцатью порядками: *Chaetosphaeriales* (1), *Coronophorales* (2), *Diaporthales* (3), *Dothideales* (1), *Erysiphales* (3), *Helotiales* (9), *Hypocreales* (3), *Hysteriales* (5), *Pezizales* (1), *Pleosporales* (8), *Rhytismatales* (2), *Sordariales* (2), *Trichosphaeriales* (1), *Venturiales* (1), *Xylariales* (9).

Среди аскомицетов в стадии телеоморфы встречаются следующие формы плодовых тел: клейстотеции (3 вида), перитеции (21), апотеции (13) и псевдотеции (15). Чаще всего в наших сборах встречаются плодовые тела в форме перитеций – все у представителей класса *Sordariomycetes*. Апотеции встречаются в классе *Leotiomycetes*. Псевдотеции развиваются у представителей *Dothideomycetes*. Мучнисторосяные грибы, плодовые тела которых представлены клейстотециями (порядок *Erysiphales*) в традиционной классификации относились к классу *Plectomycetes*, однако

согласно современным представлениям о генетической структуре перенесены в класс *Leotiomycetes* (*Erysiphaceae*, *Erysiphales*, *Leotiomycetidae*, *Leotiomycetes*).

Предварительная ревизия видового состава микобиоты древесных пород позволила установить, что из выявленных на территории юго-западных районов микромицетов 19 являются инвазивными (4 вида развивались эндофитно и были выявлены только молекулярно-генетическими методами):

Ниже приведен список инвазивных видов:

Coleosporium complex (рис. 2);

Cyclaneusma minus (Butin) DiCosmo, Peredo & Minter, Eur. J. For. Path. 13(4): 208 (1983);

Diaporthe eres Nitschke, Pyrenomyc. Germ. 2: 245 (1870) (эндофитно);

Dothistroma septosporum (Dorog.) M. Morelet, Bull. Soc. Sci. nat. Arch. Toulon et du Var 177: 9 (1968);



Рис. 2. Ржавчина на хвое сосны – *Coleosporium tussilaginis*

Fig. 2. Rust on pine needles – *Coleosporium tussilaginis*

Erysiphe alphitoides (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam., Schlechtendalia 4: 5 (2000);

Erysiphe flexuosa (Peck) U. Braun & S. Takam., Schlechtendalia 4: 19 (2000) (рис. 3);

Gymnosporangium sabinae (Dicks.) G. Winter, Pilze Deutschl. 1: 232 (1884) (рис. 4):



Рис. 3. Мучнистая роса листьев каштана – *Erysiphe flexuosa*
Fig. 3. Powdery mildew of chestnut leaves – *Erysiphe flexuosa*

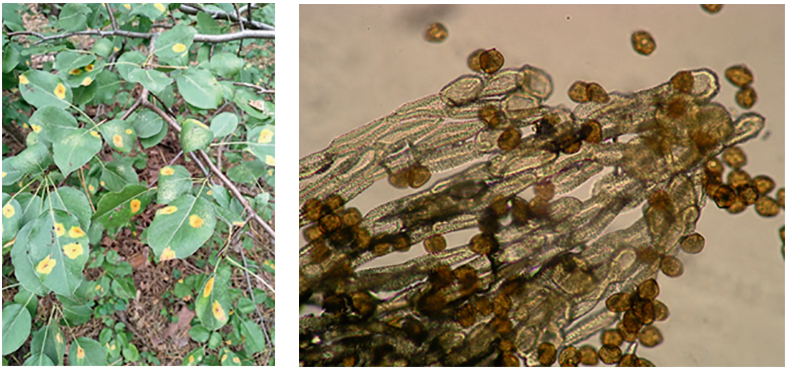


Рис. 4. Ржавчина листьев груши – *Gymnosporangium Sabina*
Fig. 4. Pear leaf rust – *Gymnosporangium sabina*

Gymnosporangium tremelloides R. Hartig, Lehrb. Baumkrankh.: 55 (1882);

Melampsoridium betulinum (Pers.) Kleb., Z. PflKrankh. PflPath. PflSchutz 9: 21 (1899);

Melampsoridium hiratsukanum S. Ito ex Hirats. f., J. Fac. agric., Hokkaido Imp. Univ., Sapporo 21: 10 (1927);

Nectria nigrescens Cooke, Grevillea 7(no. 42): 50 (1878) (эндофитно);
Neofabraea alba (E.J. Guthrie) Verkley, Stud. Mycol. 44: 125 (1999) (эндофитно);
Passalora juniperina (Georgescu & Badea) H. Solheim, Agarica 33: 78 (2013);
Pestalotiopsis funerea (Desm.) Steyaert, Bull. Jard. bot. État Brux. 19(3): 340 (1949);
Phyllosticta paviae Desm., Annls Sci. Nat., Bot., sér. 3 8: 32 (1847); (Guignardia aesculi (Peck) V.B.Stewart) (рис. 5);
Phoma complex;
Rhabdocline laricis (Vuill.) J.K. Stone, in Johnston, Seifert, Stone, Rossman & Marvanová, IMA Fungus 5(1): 106 (2014);
Sphaeropsis sapinea (Fr.) Dyko & B. Sutton, in Sutton, The Coelomycetes (Kew): 120 (1980);
Wettsteinina mirabilis (Niessl) Höhn., Sber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., Abt. 1 116: 635 (1907) (эндофитно).



Рис. 5. Бурая пятнистость листьев каштана – *Phyllosticta paviae*
Fig. 5. Brown leaf spot of chestnut – *Phyllosticta paviae*

Наиболее распространенными инвазивными микромицетами являются высокоспециализированные патогены, которые приходят в нашу флору с растениями-хозяевами при интродукции последних.

К этой группе относятся мучнисторосяные и ржавчинные виды грибов. Значительно реже встречаются виды, которые способны переходить к развитию на растениях-хозяевах из других родов.

Таксономически инвайдеры распределены равномерно по 3 группам: 5 видов ржавчинных грибов (*Coleosporium* complex, *Gymnosporangium sabinae*, *G. tremelloides*, *Melampsoridium betulinum M. hiratsukanum*), 4 вида аскомицетов в телеостадии (*Erysiphe flexuosa*, *E. alphitoides*, *Dothistroma septosporum*, *Cyclaneusma minus*) и 5 аскомицетов в анаморфной стадии (*Passalora juniperina*, *Pestalotiopsis funereal*, *Phyllosticta paviae*, *Phoma spp*., *Sphaeropsis sapinea*) (рис. 6).



Рис. 6. Распределение видов-инвайдеров по основным таксонам

Fig. 6. Distribution of invader species by main taxa

Эколого-географические характеристики инвазивных видов приводятся далее:

Coleosporium complex; Эвнеморальные виды с дизъюнктивным ареалом. Облигатные биотрофы.

Cyclaneusma minus (Butin) DiCosmo, Peredo & Minter, Eur. J. For. Path. 13(4): 208 (1983); Бореальный / нотобореальный вид с дизъюнктивным ареалом. Облигатный биотроф.

Dothistroma septosporum (Dorog.) M. Morelet, Bull. Soc. Sci. nat. Arch. Toulon et du Var 177: 9 (1968); Мультирегиональный / бореотропический вид. Облигатный биотроф.

Erysiphe alphitoides (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam., Schlechtendalia 4: 5 (2000); Неморальный вид североамериканского происхождения. Облигатный биотроф.

Erysiphe flexuosa (Peck) U. Braun & S. Takam., Schlechtendalia 4: 19 (2000); Неморальный вид североамериканского происхождения. Облигатный биотроф.

Gymnosporangium sabinae (Dicks.) G. Winter, Pilze Deutschl. 1: 232 (1884); Ксерофитный европейский вид. Облигатный биотроф.

Gymnosporangium tremelloides R. Hartig, Lehrb. Baumkrankh.: 55 (1882); Бореально-монтанный европейский вид. Облигатный биотроф.

Melampsoridium betulinum (Pers.) Kleb., Z. PflKrankh. PflPath. PflSchutz 9: 21 (1899); Бореальный вид. Облигатный биотроф.

Melampsoridium hiratsukanum S. Ito ex Hirats. f., J. Fac. agric., Hokkaido Imp. Univ., Sapporo 21: 10 (1927); Неморальный вид дальневосточного происхождения. Облигатный биотроф.

Passalora juniperina (Georgescu & Badea) H. Solheim, Agarica 33: 78 (2013); Бореальный европейский вид. Облигатный биотроф.

Pestalotiopsis funerea (Desm.) Steyaert, Bull. Jard. bot. État Brux. 19(3): 340 (1949); Неморальный вид. Факультативный биотроф.

Phyllosticta paviae Desm., Annls Sci. Nat., Bot., sér. 3 8: 32 (1847); (Guignardia aesculi (Peck) V.B.Stewart); Неморальный вид североамериканского происхождения. Облигатный биотроф.

Phoma complex; Мультирегиональные виды. Факультативные биотрофы. (данные БГТУ).

Sphaeropsis sapinea (Fr. ex. Fr.) Dyko et Sutto. Неморальный вид европейского происхождения. Облигатный биотроф.

Таким образом, проведенный эколого-географический анализ патогенов показал, что наибольшее число потенциально опасных видов относятся к неморальному географическому элементу микобиоты, а также к бореальному и имеют европейское, североамериканское и дальневосточное происхождение (рис. 7).

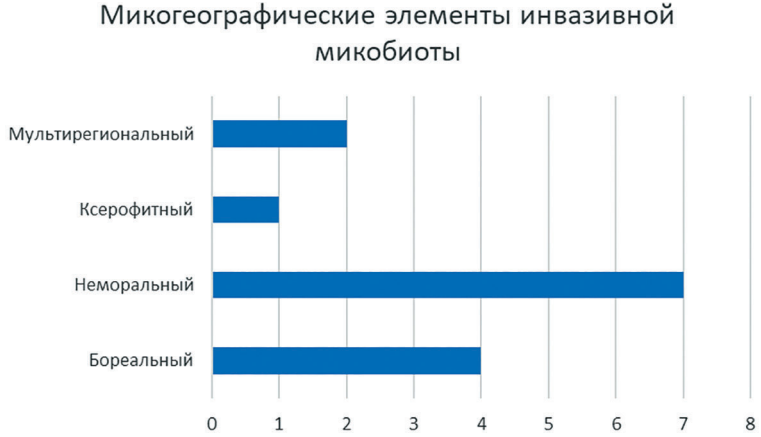


Рис. 7. Географические элементы инвазивной микобиоты

Fig. 7. Geographic elements of invasive mycobiota

Практически все выявленные инвазивные виды относятся к одной эколого-трофической группе филлофильных биотрофов, за исключением экологически лабильного вида *Pestalotiopsis funereal*, встречающегося и на отмерших остатках и даже в ризосфере.

Большинство инвайдеров проникло на территорию республики расширяя свой вторичный ареал из центров непреднамеренной интродукции в странах Европы.

При сравнении инвазивного компонента микобиоты на ООПТ и территориях не имеющих природоохранного статуса, показано, что на охраняемых территориях превалируют инвайдеры, проникновение которых на территорию Беларуси зафиксировано до 2006 г. (возбудители халарового некроза, ржавчины хвои сосны), в отличие от относительно недавно появившихся видов, таких как циклонезмовое шютте сосны и шютте лиственницы вызываемое *Rhabdocline laricis* (рис. 8).



Рис. 8. Шютте хвои лиственницы, вызываемое *Rhabdocline laricis*
Fig. 8. Shute larch needles caused by *Rhabdocline laricis*

Молекулярно-генетические исследования дендропатогенов проводились в 2020 г. на базе Лаборатории нехромосомной наследственности Института генетики и цитологии НАН Беларуси.

В результате выделена ДНК из трех образцов микромицетов с эндофитной инфекцией, возбудители которой не идентифицировались анатомо-морфологическими методами.

Была поставлена ПЦР и получены сиквенсы отличного качества. В результате образцы, переданные для анализа, идентифицированы как виды *Neofabraeae alba*, *Diaporthe eres*, *Nectria nigrescens*.

Ниже представлены результаты сопоставления полученных сиквенсов с эталонными последовательностями, представленными в GenBank.

1. Образец *Neofabraea alba* с праймером ITS4 (рис. 9)

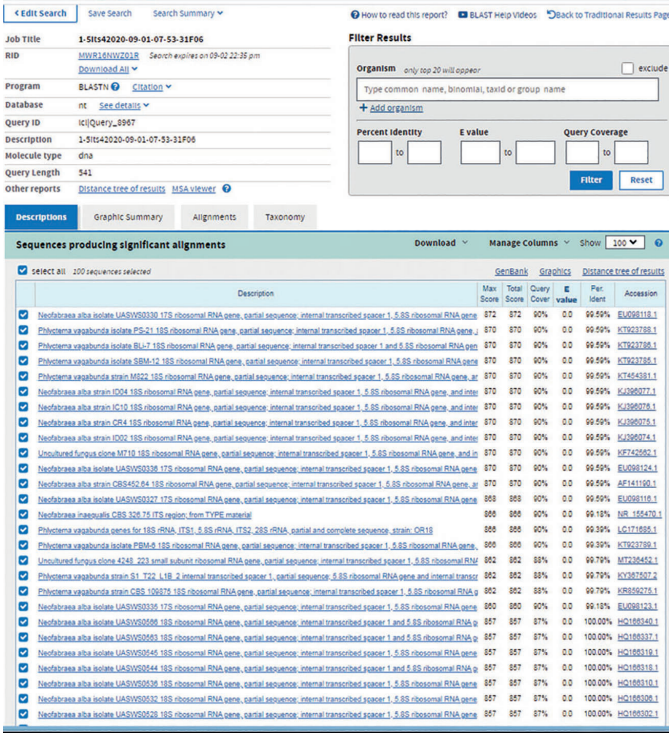


Рис. 9. Сопоставление полученного сиквенса *Neofabraea alba* с последовательностями в GenBank

Fig. 9. Comparison of the obtained sequence of *Neofabraea alba* with sequences in GenBank

2. Образец *Diaporthe eres* с праймером ITS4 (рис. 10)

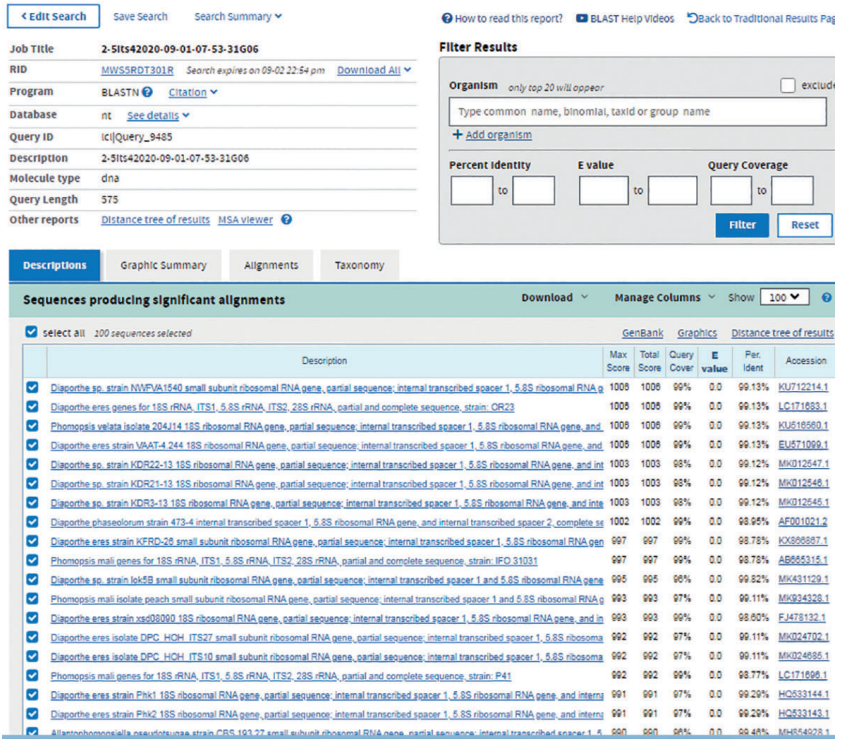


Рис. 10. Сопоставление полученного сиквенса *Diaporthe eres* с последовательностями в GenBank
Fig. 10. Comparison of the obtained *Diaporthe eres* sequence with sequences in GenBank

3. Образец *Nectria nigrescens* с праймером ITS4 (рис. 11)

Также при изучении 21 образца хвои сосны из Малористского района Брестской области во всех случаях был выявлен новый для Беларуси вид *Wettsteinina mirabilis*. Род Ветштейнина (*Wettsteinina*) включает 6 видов. Наиболее известна из них *Wettsteinina mirabilis*, которая нередко встречается в странах умеренного климата Европы, Азии и Северной Америки. Псевдотеции этого гриба диаметром 120–380 мкм. Гриб произрастает на отмерших веточках различных древесных и кустарниковых растений.



Рис. 11. Сопоставление полученного сиквенса *Nectria nigrescens* с последовательностями в GenBank

Fig. 11. Comparison of the obtained sequence of *Nectria nigrescens* with sequences in GenBank

При проведении молекулярно-генетического анализа по первой полиморфной позиции T только, по второй полиморфной позиции G- гетерозигота, можно G или C, по третьей G- только G, по четвертой T только T.

Была сконструирована пара праймеров к митохондриальной ДНК микромицетов к гену cytB. Отработаны условия ПЦР реакции и проведено секвенирование. Получены новые сиквенсы *cytB* митохондриальной ДНК.

С этой же ДНК поставлена ПЦР и сиквенсовая реакция для митохондриального гена *cytB*.

При этом на хвое не отмечалось признаков развития данного микромицета, что говорит о его эндофитном развитии.

Образцы ДНК подготовлены и переданы в Республиканский банк ДНК человека, животных, растений и микроорганизмов. Составлен акт о передаче образцов.

Данные исследования продолжаются, для более точной идентификации грибов необходим подбор дополнительных маркеров к другим областям геномов. В данном направлении ведется активная работа. Получен большой объем данных, требующих изучения.

Заключение. В результате исследований было выявлено 19 инвазивных видов микромицетов, 4 из которых развивались эндофитно и были обнаружены при проведении молекулярно-генетического анализа. Наибольшее число потенциально опасных видов относятся к неморальному

географическому элементу микобиоты, а также к бореальному и имеют европейское, североамериканское и дальневосточное происхождение.

Практически все выявленные инвазивные виды относятся к одной эколого-трофической группе филлофильных биотрофов, за исключением экологически лабильного вида *Pestalotiopsis funerea*, встречающегося и на отмерших остатках и даже в ризосфере.

Большинство инвайдеров проникло на территорию республики, расширяя свой вторичный ареал, из центров непреднамеренной интродукции в странах Европы.

Литература

1. Беломесяцева, Д. Б. Инвазивные виды фитопатогенных организмов в Беларуси и сопредельных странах / Д. Б. Беломесяцева, О. Г. Гапиенко, В. Б. Звягинцев, С. А. Жданович // Ботаника (исследования): / Сб. науч. тр. Вып. 42. / Ин-т эксп. бот. НАН Беларуси. – Минск : Колорград, 2013. – С. 87–98.

2. Беломесяцева, Д. Б. Инвазивная микобиота древесных пород в Беларуси / Д. Б. Беломесяцева, В. Б. Звягинцев, Т. Г. Шабашова // Современная микология в России. Том 8. Вып. 3. Материалы 4-го Международного микологического форума. М.: Национальная академия микологии, 2020. – С. 209.

3. Билай, В. И. Методы экспериментальной микологии: справочник / В. И. Билай [и др.]; под общ. ред. В.И. Билай – Киев: Навукова думка, 1982. – 233 с.

4. Головченко, Л. А. Инвазии чужеродных видов патогенных грибов в насаждениях Беларуси / Л. А. Головченко, Н. Г. Дишук, В. А. Тимофеева, И. В. Ярук // Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира / Материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Центрального ботанического сада НАН Беларуси (6–8 июня 2017 года, г. Минск). – Минск: Мэдисонт, 2017. – С. 375–378.

5. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов [и др.]; под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.

6. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 496 с.

7. Поликсенова, В. Д. Чужеродные и инвазивные фитопатогенные микромицеты в естественных и искусственных фитоценозах Беларуси / В. Д. Поликсенова, А. К. Храмцов, М. Н. Федорович // Современная микология в России. Том 7. Материалы 4-го Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2017. – С. 90–91.

8. Поликсенова, В. Д. Чужеродные фитопатогенные микромицеты Беларуси / В. Д. Поликсенова, А. К. Храмцов // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. Хим., биол., геогр. – 2015. – № 3. – С. 43–48.

9. Biogeographic patterns and determinants of invasion by alien forest pathogenic fungi in Europe / A. Santini et. al. // New Phytologist. – 2013. – № 197. – P. 238–250.

10. Zvyagintsev, V. B. Pathogenic fungal diseases of branches of the ash in the drying out plantations in Belarus / V. B. Zvyagintsev, O. Yu. Baranov, L. F. Melnik // Fungi and lichens in the Baltics and Beyond: XVIII Symposium of the Baltic Mycologists and Lichenologists Lithuania (Dubingiai, September 19–23, 2011). Programme and Abstracts. – Vilnius, 2011. – P. 21.

Поступила в редакцию 21.10.2021 г.

УДК 632.4:633.88

С. И. КОРИНЯК, В. Н. ЛЕБЕДЬКО

ФИТОПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ НА РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА RANUNCULACEAE В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: SS70@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся данные о ботанико-микологических исследованиях, проведенных в вегетационные периоды 2016–2020 гг. на территории Ннационального парка (НП) «Беловежская пуща». В лесных фитоценозах произведены сборы пораженных растений семейства Ranunculaceae и идентификация на них анаморфных грибов. В результате выявлено 14 видов микромицетов из 9 родов, паразитирующих на 4 видах растений. Идентифицированные микромицеты являются возбудителями пятнистостей листьев и могут представлять потенциальную опасность для растений семейства Ranunculaceae в лесных фитоценозах НП «Беловежская пуща».

Ключевые слова: национальный парк, лесные фитоценозы, семейство Ranunculaceae, фитопатогенные микромицеты, пятнистости листьев

S. I. KORINIAK, V. N. LEBEDKO

PHYTOPATOGENIC MICROMYCETES ON THE PLANTS FROM RANUNCULACEAE FAMILY IN THE NATIONAL PARK «BIELOVEGSKAJA PUSCHA»

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: SS70@mail.ru

Annotation. In the article the data of mycology researches had been carried out in the course of the vegetation periods 2016–2020 on the territory of National park «Bielovegskaja puscha» are presented. The work on collection of plants and identification of phytopatogenic micromicetes on them were making in forest phytocenoses. There are 14 species of micromycetes on 4 species of plants from Ranunculaceae family were identified. All micromycetes are the agents of plants spots. Under the auspicious weather conditions the pathogens can to be the potential danger for higher plants in forest phytocenoses of National park «Bielovegskaja puscha».

Keywords: phytopathogenic micromycetes, leaf spots, national park, Ranunculaceae family, forest phytocenoses.

Введение. Изучение фитопатогенных микромицетов на цветковых растениях является важным и перспективным направлением в области микологии и фитопатологии. В настоящее время, помимо культивируемых растений, большое внимание необходимо уделять и представителям природной флоры. В первую очередь это должно касаться таких крупных и важных с хозяйственной точки зрения семейств как семейство Ranunculaceae Adans. (Лютиковые). Оно насчитывает около 70 родов

и около 2000 видов, распространенных по всем континентам, но главным образом вне тропиков [12]. Представители семейства – однолетние, двулетние и многолетние травянистые растения, встречаются также кустарниковые лианы или кустарнички. Во флоре Беларуси в настоящее время известно более 100 видов (включая микровиды), относящихся к 20 родам. Изучение видов этого семейства представляют большой как научный, так и практический интерес. Они обладают многими полезными свойствами, в частности применяются как перспективное лекарственное сырье. Большинство видов лютиковых ядовиты. Многие декоративны и широко используются в деле озеленения. Среди представителей семейства немало охраняемых видов, из которых 11 включено в Красную книгу Республики Беларусь [4].

Одним из направлений деятельности природоохранного учреждения – Национального парка (НП) «Беловежская пуща» является проведение научных исследований, связанных с изучением природно-растительных комплексов с целью разработки и внедрения в практику научных методов сохранения биологического разнообразия на территории охраняемых объектов. В рамках поставленных задач в НП «Беловежская пуща» были проведены исследования сапротрофных, условно-патогенных и патогенных микромицетов, колонизирующих высшие растения. Представители семейства Лютиковые (Ranunculaceae), как и другие сосудистые растения, подвержены воздействию патогенных микромицетов, преимущественно анаморфных грибов (anamorphic fungi), способных колонизировать как вегетативные, так и генеративные органы растений, вызывая различные поражения, приводящие к возникновению эпифитотий и, в конечном итоге, исчезновению популяций.

Приоритетной задачей проведенных исследований являлось изучение таксономического состава патогенных грибов, степени поражения исследуемых растений и разработка мероприятий по ограничению распространения патогенов в пределах ареалов их растений-хозяев.

Объекты (материалы) и методы исследования. Ботанические исследования проводились маршрутно-поисковым методом в вегетационные периоды 2016–2020 гг. Изучение микобиоты растений сопровождалось сбором гербарного материала с видимыми признаками поражения вегетативных органов. При изучении видового состава микромицетов использовали общепринятые методы В. И. Билай [1]. Нижеприведенные виды грибов, а также их синонимы и анаморфы согласованы с международной микологической глобальной базой данных Index fungorum [14]. Для уточнения видовых названий растений использована электронная база данных (MBG's electronic databases) Tropicos [15].

Образцы пораженных видов растений хранятся в гербарной коллекции MSK-F Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси.

Результаты и их обсуждение.

В ходе экспедиционных работ на территории НП «Беловежская пуща» были обследованы следующие лесные сообщества:

Грабняк кисличный: Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская Пуща», Язвинское л-во, кв. 139. Брестская обл., Пружанский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Бабинец, урочище «Тисовик», Никорское л-во, кв. 562.

Дубрава злаковая: Брестская обл., ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 618.

Дубрава кисличная: Брестская обл., ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 589. Королево-мостокское л-во, кв. 778Д, 806Б.

Кленовник разнотравный: Брестская обл., Пружанский р-н, ГПУ НП «Беловежская Пуща», окр. дер. Перерово, Никорское л-во, кв. 589.

Смешанный лес: Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, Свислочское л-во, окр. дер. Жарковщина, кв. 77 А. Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», Язвинское л-во, кв. 138.

Сосняк орляково-чернично-мшистый: Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Новоселки, Новоселковское л-во, кв. 133 Г, 172.

Черноольшаник кисличный: Брестская обл., ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 589.

Черноольшаник кисличный: Брестская обл., ГПУ НП «Беловежская пуща», Хвойницское л-во, кв. 349Б.

В результате обследования лесных фитоценозов был составлен перечень пораженных грибной инфекцией видов – представителей сем. Ranunculaceae с указанием ареалов их естественного распространения, места произрастания, встречаемости на территории Беларуси, а также хозяйственного значения и числа хромосом. В перечень внесены 4 вида (приводятся в алфавитном порядке):

Anemonoides nemorosa **L.** – 15–25. IV–V. Кавказ, Скандинавия, Средняя и Атлантическая Европа, Средиземноморье (горы). По смешанным лесам, лесным вырубкам, полянам. По всей территории Беларуси, часто. Медонос и перганос. Кормовое. Декоративное. Ядовитое. – 2n = 28–32, 37, 42, 45, 46 [8, 11].

Caltha palustris **L**. – (12)20–50. IV–V. Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия; Скандинавия, Атлантическая Средняя и Восточная Европа, Средиземноморье, Малая Азия (север), Иран (север), Монголия, Япония и Китай, Северная Америка. По берегам водоемов, болотистым лугам, болотам, сырым и заболоченным лесам. По всей территории Беларуси, часто. Медонос и перганос. Красильное. Кормовое. Пищевое. Декоративное. Ядовитое. Лекарственное. – 2n = (28)32(56) [8, 11].

Hepatica nobilis **Schreb**. – 10–15. IV–V. Скандинавия (юг), Средняя, Атлантическая и Восточная Европа, Средиземноморье (горы). В широколиственно-еловых и мелколиственных лесах, среди кустарников, в поймах рек. В северных и центральных районах Беларуси довольно часто, на юге встречается изредка. Декоративное. Лекарственное. – 2n = 14 [8, 11].

Ranunculus lanuginosus **L**. – 25–50(70). VI–VII. Средняя и Восточная Европа. В еловых, смешанных и лиственных лесах, на лесных полянах и опушках. Преимущественно в Гродненской и западной части Минской областей, изредка. Декоративное. Лекарственное. Жиромасличное. – 2n = 14, 28 [8, 11].

На основе идентификации видовой принадлежности патогенных видов грибов, обнаруженных на растениях сем. Ranunculaceae в лесных фитоценозах обследуемой территории НП, составлен список этих миксомицетов с указанием их синонимов и анаморф, а также вида растения-хозяина. Таксономическая характеристика миксомицетов в списке дополняется такими данными как местонахождение (географические привязки мест сборов): область, район, лесничество, квартал и тип леса для каждого гриба на территории НП «Беловежская пуща»:

Alternaria alternata (Fr.) Keissler. Beih. Bot. Zbl. 29: 434, 1912. Syn.: *Torula alternata* Fr., Syst. mycol. (Lundae) 3 (2): 500 (1832). *Alternaria fasciculata* (Cooke & Ellis) L.R. Jones & Grout, Bull. Torrey bot. Club 24 (5): 257 (1897). *Alternaria rugosa* McAlpine, (1896)., *Alternaria tenuis* Nees. Syst. Pilze (Würzburg): 72 (1816) [1816–17], *Macrosporium fasciculatum* Cooke & Ellis, Grevillea 6 (no. 37): 6 (1877), *Ulocladium consortiale* Brook; fide NZfungi (2008). Pleosporaceae [3, 6, 13].

На листьях *Hepatica nobilis* Schreb.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

На листьях *Ranunculus lanuginosus* L.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

На листьях *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub.

Местонахождение: Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 618. Дубрава злаковая.

Ascochyta dolomitica Kabát & Bubák, Öst. bot. Z. 54: 24 (1904). Syn.: *Stagonospora dolomitica* (Kabát & Bubák) Petr., Hedwigia 68: 239 (1928). Didymellaceae [5].

На листьях *Hepatica nobilis* L.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

Ascochyta infuscans infuscans Ellis & Everh., J. Mycol. 5 (3): 148 (1889). Didymellaceae [5].

На листьях *Anemonoides nemorosa* L.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Хвойникское л-во, кв. 349Б. Черноольшаник кисличный.

Местонахождение: Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б. Дубрава кисличная.

Cladosporium herbarum (Pers.) Link, in Willdenow, Mag. Gesell. naturf. Freunde, Berlin 8: 37 (1816) [1815]. Syn.: *Dematium herbarum* Pers., Ann. Bot. (Usteri) 11: 32 (1794). Cladosporiaceae [3, 6, 13].

На листьях *Ranunculus lanuginosus* L.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

На листьях *Anemonoides nemorosa* L. Ranunculaceae.

Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д., 806Б. Дубрава кисличная.

Fusarium culmorum (Wm.G. Sm.) Sacc., Syll. fung. (Abellini) 10: 726 (1892). Nectriaceae [6].

На листьях *Anemonoides nemorosa* L.

Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б. Дубрава кисличная.

Ovularia decipiens Sacc., Michelia 2 (no. 8): 546 (1882). Mycosphaerellaceae [3].

На листьях *Ranunculus lanuginosus* L.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 589. Черноольшаник кисличный.

Phyllosticta anemones Fuckel, Hedwigia 3: 157 (1864). Syn.: Septoria anemones (Fuckel) Fuckel, Jb. nassau. Ver. Naturk. 23–24: 389 (1870). *Phyllostictaceae* [14].

На листьях *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 618. Дубрава злаковая. Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д. Дубрава кисличная.

Ramularia caltha Lindr., Acta Soc. Fauna Flora fenn. 23 (no. 3): 15 (1902) [1901–1902]. Syn.: *Ramularia didyma* Unger, Exanth. Pflanzen (Wien): 169 (1833). Mycosphaerellaceae [3].

На листьях *Caltha palustris* L.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Новоселки, Новоселковское л-во, кв. 172. Сосняк чернично-орляковый.

Ramularia filiformis Lindr., Acta Soc. Fauna Flora fenn. 23 (no. 3): 34 (1902) [1901–1902]. Syn.: *Ramularia obducens* Thüm., Hedwigia 20: 56 (1881). *Cylindrosporium obducens* (Thüm.) J. Schröt. [as ‘Cylindrospora’], in Cohn, Krypt. –Fl. Schlesien (Breslau) 3.2 (4): 491 (1897). *Ramularia obducens* var. *filiformis* (Lindr.) U. Braun, Monogr. Cercosporella, Ramularia Allied Genera (Phytopath. Hyphom.) 2: 258 (1998). Mycosphaerellaceae [3].

На листьях *Anemonoides nemorosa* (L.) Holub.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 618. Дубрава злаковая. Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 589. Черноольшаник кисличный. Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Хвойникское л-во, кв. 349Б. Черноольшаник кисличный. Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д. Дубрава кисличная.

Ramularia ranunculi Peck, Ann. Rep. N.Y. St. Mus. nat. Hist. 35: 154 (1884) [1882]. Syn.: *Ramularia didyma* Unger, Exanth. Pflanzen (Wien): 169 (1833). *Septocylindrium ranunculi* Peck, Ann. Rep. N.Y. St. Mus. nat. Hist. 34: 46 (1883). Mycosphaerellaceae [3].

На листьях *Ranunculus lanuginosus* L.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

Местонахождение: Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 589. Черноольшаник кисличный.

Septoria anemones Desm., Annls Sci. Nat., Bot., sér. 2 10: 310 (1838) Mycosphaerellacea. [3, 9].

На листьях *Anemonoides nemorosa* L.

Брестская обл., Пружанский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Бабинец, Урочище Тисовик, Никорское л-во, кв. 562. Грабняк кисличный. Окр. дер. Перерово, Никорское л-во, кв. 589. Кленовник снытевый.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», Язвинское л-во, кв. 138. Смешанный лес.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 589. Черноольшаник кисличный.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Хвойникское л-во, кв. 349Б. Черноольшаник кисличный.

Septoria hepaticae Desm., Annls Sci. Nat., Bot., sér. 2 19: 340 (1843) Mycosphaerellaceae [3, 9].

На листьях *Hepatica nobilis* Schreb.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

Stemphylium botryosum Wallr. Fl. crypt. Germ. (Nürnberg) 2: 300 (1833). Syn.: *Stemphylium botryosum* Wallr., Fl. crypt. Germ. (Norimbergae) 2: 300 (1833) var. *botryosum*. *Stemphylium botryosum* subsp. asperulum Sacc., Michelia 2 (no. 7): 376 (1881). *Pleospora tarda* E.G. Simmons, Sydowia 38: 291 (1986). Pleosporaceae [3, 6, 13].

На листьях *Hepatica nobilis* Mill.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», Свислочское л-во, кв. 77 А. Смешанный лес.

На листьях *Anemonoides nemorosa* L. Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», Язвинское л-во, кв. 138. Смешанный лес.

Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 618. Дубрава злаковая.

Местонахождение: Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Никорское л-во, кв. 589. Черноольшаник кисличный.

Местонахождение: Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д. Дубрава кисличная.

Triposporium elegans Corda, Icon. fung. (Prague) 1: 16 (1837). Pezizellaceae [13].

На листьях *Caltha palustris* L.

Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП «Беловежская пуща», окр. дер. Новоселки, Новоселковское л-во, кв. 172. Сосняк чернично-орляковый.

На листьях *Anemonoides nemorosa* L.

Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Хвойникское л-во, кв. 349Б. Черноольшаник кисличный.

Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП «Беловежская пуща», Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б. Дубрава кисличная.

В результате проведенных ботанико-микологических работ на территории Национального парка «Беловежская пуща» исследовано 4 вида растений, относящихся к семейству Ranunculaceae, на которых идентифицировано 14 видов микромицетов из 9 родов. Микромицеты из родов *Ascochyta*, *Ovularia*, *Phyllosticta*, *Ramularia*, *Septoria* являются видоспецифичными, вызывая характерные пятнистости на листьях исследуемых растений, и преимущественно выявляются в начале и на протяжении всего периода вегетации. Микромицеты из родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, *Triposporium* являются сапротрофами, и к середине вегетационного периода (июнь – середина июля) появляются уже на образовавшихся пятнах, вызванных видоспецифичными патогенами (табл.). Однако, при изменении экологических факторов (колебание температуры, обильное выпадение осадков или их отсутствие, возрастание антропогенной нагрузки и т. д.), способных повлиять как отрицательно на развитие растения, так и положительно на развитие гриба, сапротрофы могут выступить в роли паразита и самостоятельно спровоцировать появление пятнистостей. В совокупности видоспецифичные и сапротрофные микроорганизмы, образуя микокомплексы, ведут к возрастанию степени поражения растения, угнетению роста, потере полезных свойств (лекарственных, декоративных, медоносных, кормовых и др.) и, порой, к его гибели.

Таблица. Список видов грибов по растениям-хозяевам

Table. List of fungi species to host plants

№	Субстрат (растение-хозяин) сем. Ranunculaceae	Видовое название гриба	Местонахождение	Тип леса (луга)
1	*Anemoneoides nemorosa* L.	*Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 618.	Дубрава разнотравная
		Ascochyta infuscans El. et Ev.	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Хвойникское л-во, кв. 349Б.	Черноольшаник мертвопокровный
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б	Дубрава кисличная
		Cladosporium herbarum (Pers.) Link	Брестская обл., Пружанский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Перерово, Никорское л-во, кв. 589.	Кленовник разнотравный
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б	Дубрава кисличная
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д	Дубрава кисличная
		Fusarium culmorum (Sm.) Sacc.	Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б	Дубрава кисличная
		Phyllosticta anemones Fuckel	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 618.	Дубрава разнотравная
			Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 589.	Черноольшаник кисличный
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д	Дубрава кисличная

		Ramularia filiformis Lindr.	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 618.	Дубрава разнотравная
			Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Хвойникское л-во, кв. 349Б.	Черноольшаник мертвопокровный
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д	Дубрава кисличная
		Septoria anemones Desm.	Брестская обл., Пружанский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Бабинец, Урочище Тисовик, Никорское л-во, кв. 562.	Грабняк мертвопокровный
			Брестская обл., Пружанский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Перерово, Никорское л-во, кв. 589.	Кленовник разнотравный
			Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 589.	Черноольшаник кисличный
			Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Хвойникское л-во, кв. 349Б.	Черноольшаник мертвопокровный
		Stemphylium botryosum Wallr.	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 618.	Дубрава разнотравная
			Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 589.	Черноольшаник кисличный
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 778Д	Дубрава кисличная
		Triposporium elegans Corda	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Хвойникское л-во, кв. 349Б.	Черноольшаник мертвопокровный
			Брестская обл., Каменецкий р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Королево-Мостокское л-во, кв. 806Б	Дубрава кисличная

Окончание табл.

№	Субстрат (растение-хозяин) сем. Ranunculaceae	Видовое название гриба	Местонахождение	Тип леса (луга)
2	*Caltha palustris* L.	*Ramularia caltha* Lindr.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Новоселки, Новоселковское л-во, кв. 172.	Сосняк орляково-чернично-кислично-мшистый.
		Triposporium elegans Corda.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Новоселки, Новоселковское л-во, кв. 172.	Сосняк орляково-чернично-кислично-мшистый.
3	*Hepatica nobilis* Mill.	*Alternaria alternata* Fr.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 а.	Смешанный лес
		Ascochyta dolomitica Kab et Bub.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, Свислочское л-во, кв. 77 А.	Смешанный лес
		Septoria herpaticae Schreb.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 а.	Смешанный лес.
		Stemphylium botryosum Wallr.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, Свислочское л-во, кв. 77 А.	Смешанный лес
4	*Ranunculus lanuginosus* L.	*Alternaria alternata* Fr.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 а.	Смешанный лес
		Cladosporium herbarum (Pers.) Link	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77а.	Смешанный лес
		Ovularia decipiens Sacc.	Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 589.	Дубрава кисличная
		Ramularia ranunculi Peck.	Гродненская обл., Свислочский р-н, ГПУ НП Беловежская пуща, окр. дер. Жарковщина, Свислочское л-во, кв. 77 а.	Смешанный лес
			Брестская обл., Пружанский р-н. ГПУ НП Беловежская пуща, Никорское л-во, кв. 589.	Дубрава кисличная

Заключение. Краткий обзор приведенных данных показывает видовую специализацию фитопатогена по отношению к колонизируемому субстрату (растению-хозяину), возрастающую степень поражения в комплексе с другими грибами и, как следствие, необходимость дополнительных исследований, включающих идентификацию видового состава фитопагенных грибов-возбудителей болезней растений, оценки фитопатологической ситуации, а также разработки эффективных методов борьбы с фитопатогенами на территории НП «Беловежская пуща».

Литература

1. Билай, В. И. Методы экспериментальной микологии / В. И. Билай. – 1-е изд. – Киев: Наукова думка, 1982. – 552 с.

2. Василевский, Н. И. Паразитные несовершенные грибы. Определитель: в 2 т. / Н.И. Василевский, Б. П. Каракулин. – 1-е изд. – М.Л.: Академия наук СССР, 1937. – Т. 1: Гифомицеты – 518 с.

3. Визначник грибів України. Несовершені гриби / С.Ф. Морочковский, [и др.]; под общ. ред. Д. К. Зерова. – 1-е изд. – Київ: Наукова думка, 1971. – Т. 3. – 696 с.

4. Красная книга Республики Беларусь: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений растения / гл. редкол.: И. М. Качановский, М. Е. Никифоров, В. И. Парфенов [и др.]. – 4-е изд. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, – 2015. – 448 с.

5. Мельник, В. А. Определитель грибов рода Ascochyta Lib. / В. А. Мельник. – 1-е изд. – Ленинград: Наука, 1977. – 246 с.

6. Пидопличко, Н. М. Грибы – паразиты культурных растений. Определитель: в 3 т. / Н. М. Пидопличко. – 1 изд. – Киев: Наукова думка, 1977. – Т. 2 : Грибы несовершенные.– 299 с.

7. Пидопличко, Н. М. Грибы – паразиты культурных растений. Определитель: в 3 т. / Н. М. Пидопличко. – 1 изд. – Киев: Наукова думка, 1977. – Т. 3: Пикнидиальные грибы.– 232 с.

8. Растительные ресурсы СССР / Цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства Magnoliaceae – Limoniaceae; редкол.: А. А. Федоров [и др.]. – Ленинград: Наука, 1984. – 460 с.

9. Тетеревникова-Бабаян, Д. Н. Грибы рода Септория в СССР / Д. Н. Тетеревникова-Бабаян. – 1-е изд. – Ереван: АНАрмССР, 1987. – 479 с.

11. Цвелев, Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-западной России / Н. Н. Цвелев. – Санкт-Петербург: СПХФА, 2000. – 782 с.

12. Флора Восточной Европы: в 11 т. / редкол. Н. Н. Цвелев (гл. ред.) [и др.]. – СПб.: Мир и семья, 1974–2004. – Т. 10. Покрытосеменные двудольные / И. О. Бузунова [и др.]. – 2001. – 670 с.

13. Ellis, M. B. Dematiaceous hyphomycetes / M. B. Ellis. – 1-t ed. – Surrey: Kew, 1971. – 608 p.

14. Kirk, P. M. Index of fungi / P. M. Kirk // The global fungal nomenclator [Electronic resource]. – The CABI, 2003–2004. – Mode of access: http://indexfungorum.org/ – Date of access: 27.03.2021.

15. Shaw Bouleward – Saint Louis Missouri. Missouri botanical garden. – Mode of access: http: //www.tropicos.org/ – Date of access: 26.05.2021.

Поступила в редакцию 21.05.2021 г

582.2/.3; 574.4; 502.171:502.3/7

Т. Г. ШАБАШОВА[1], Д. Б. БЕЛОМЕСЯЦЕВА[1],
М. Г. СИНЯВСКАЯ[2], В. В. КАРМАНОВА[1]

ВИДОВОЙ СОСТАВ ДЕНДРОФИЛЬНЫХ ГРИБОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»

[1]*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: tiniti@inbox.ru*
[2]*Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: m.sin@inbox.ru*

Аннотация. В статье приводятся данные о видовом составе дендрофильных микромицетов, собранных на территории Национального парка «Беловежская пуща». Для определения видов грибов наряду с традиционными методами исследования был использован молекулярно-генетический метод, что позволило подтвердить нахождение нового вида шютте на хвое сосны – *Lophodermium conigenum*.

Ключевые слова: микромицеты, дендрофильные грибы, полимеразная цепная реакция (ПЦР), праймеры, амплификация

T. G. SHABASHOVA[1], D. B. BELOMESIAYTSEVA[1],
M. G. SINYAVSKAYA[2], V. V. KARMANOVA[1]

THE SPECIES OF DENDROPHILOUS FUNGI OF THE NATIONAL PARK “BELOVEZHSKAYA PUSHCHA”

[1]*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: tiniti@inbox.ru*
[2]*Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: m.sin@inbox.ru*

Annotation. The article presents data on the species composition of dendrophilic micromycetes collected on the territory of the National Park “Belovezhskaya Pushcha”. To determine the species of fungi, along with traditional research methods, a molecular genetic method was used, which made it possible to confirm the finding of a new species of schutte on pine needles – *Lophodermium conigenum*.

Keywords: micromycetes, dendrophilic fungi, polymerase chain reaction (PCR), primers, amplification.

Введение. Беловежская пуща — это уникальный лесной массив, один из старейших в Европе, находящийся на границе Евразиатской хвойнолесной и Европейской широколиственной зон [1]. Географическое положение, климатические и почвенно–гидрологические условия обусловили разнообразие природы беловежских лесов. В свою очередь, многолетняя охрана природного комплекса в целом и обеспечение динамики естественных процессов в лесных экосистемах, способствовали сохранению флористического биоразнообразия. Беловежская пуща характеризуется

очень высоким разнообразием грибов, что свидетельствует о первостепенном значении этого леса как генетического резервата, в том числе находящихся под угрозой исчезновения видов [2]. Лаборатория микологии с 2016 года проводит периодические сборы грибов разных систематических групп, в том числе микромицетов, обитающих на валеже, веточном опаде, на деревьях и т.д. [3, 4].

До сих пор морфологические характеристики являются наиболее значимыми для достоверного описания вида (The Botanical Code of Nomenclature), хотя идентификация образцов только по морфологическим критериям в ряде случаев вызывает затруднения. Интенсивное развитие молекулярной биологии позволило привлечь новые, ранее неиспользованные методы к исследованию царства *Fungi*. Молекулярно-генетические подходы все шире используются в систематике и филогении грибов. Современная, основанная на ДНК маркировании классификация грибов, была предложена Hibbett et al., 2007 [5]. Применение полимеразной цепной реакции (ПЦР) с ITS-праймерами основано на том, что участки генома, содержащие фрагменты, кодирующие рибосомальные РНК, имеют в своем составе как консервативные (собственно, участки, кодирующие рРНК), так и вариабельные (спейсерные) последовательности. Консервативные участки позволяют подобрать праймеры для амплификации всей ITS-области и отдельных ее частей. Благодаря вариабельным участкам, получаемые в результате ПЦР продукты у различных организмов могут различаться по величине и иметь различные последовательности. Фрагмент ДНК ITS-2, наряду с ITS-1, является наиболее часто используемым маркером в филогенетических исследованиях близкородственных организмов. Создан международный генетический банк, включающий перечень ITS сиквенсов для каждого рода (обычно для типового вида). В некоторых случаях (при отсутствии ITS участка у аскомицетов) применяются LSU (Large subunit) сиквенсы. Обычной практикой для идентификации гифомицетов является секвенирование части нуклеотидной рибосомальной последовательности и использование баз данных (INSDC: GenBank, EMBL и DDBJ). Чаще всего используемым алгоритмом считается средство поиска основного локального выравнивания BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) – программа для сравнения изучаемой нуклеотидной последовательности с базой данных секвенированного генома какого-либо организма, для которых известна первичная структура (последовательность) или её фрагмент. Используя BLAST, можно сравнить имеющуюся последовательность с последовательностями из базы данных и найти последовательности предполагаемых гомологов. Программа BLAST производит локальные выравнивания (сравниваются только определённые участки последовательностей), что связано с наличием в различных белках сходных доменов и паттернов. Кроме этого локальное выравнивание позволяет сравнить иРНК с геномной ДНК. В случае глобального выравнивания обнаруживается меньшее сходство последовательностей, особенно их доменов и паттернов.

Современное развитие методов молекулярной биологии, применение их в микологии позволяет оптимизировать процессы идентификации

видов, установление их родства. Как предполагают исследователями, лишь небольшое количество ныне существующих видов (образцов) грибов описано и изучено [Begerow et al., 2010]. Дальнейшее использование методов маркирования ДНК в исследованиях видовой принадлежности грибов несомненно будет способствовать прогрессу в данной области знаний, переводу процесса изучения разнообразия видов на качественно новый уровень.

С 2019–2021 гг. в рамках совместного белорусско-турецкого проекта фонда фундаментальных исследований было начато изучение разнообразия микромицетов Беловежской пущи традиционными методами и с использованием молекулярно-генетических.

Материалы (объекты) и методы исследования. Для сбора образцов грибов в хвойных и лиственных фитоценозах возрастом от 80 до 120 лет [3–4] на территории НП «Беловежская пуща» были заложены пробные площадки: в Свислочском, Ощепском, Язвинском лесничествах (Гродненская область, Свислочский район), Хвойникском (Брестская область, Пружанский район) и Королево-Мостовском лесничествах (Брестская область, Каменецкий район). Сбор и идентификация грибов проводились по общепринятым методикам [6]. Видовая принадлежность и таксономические особенности определялись по определителям [7–11].

Для отработки протокола выделения геномной ДНК и проведения молекулярно-генетических исследований некоторых видов грибов в качестве тест-образцов были использованы листья дуба, березы, клена с признаками поражения грибами в виде мучнистого налета, а также хвоя сосны.

В качестве матрицы для ПЦР была взята клеточная ДНК, выделенная CTAB-методом из образцов грибов. Для проведения полимеразной цепной реакции использовались стандартные праймеры к ITS-областям.

Состав ПЦР-смеси объемом 15 мкл включал следующие реактивы с конечными концентрациями: буфер А 10х с $(NH_4)_2SO_4$ для Taq-полимеразы (Праймтех), 2 mM $MgCl_2$ (Праймтех), 0,12 U на реакцию Taq-полимеразы (Праймтех), 0,2 mM dNTPs (Праймтех), 10 pmol синтетических олигонуклеотидов, вода MilliQ, 1-4 ng ДНК в качестве матрицы.

Проведение ПЦР-реакции осуществлялось на термоциклере MyCycler производства компании BioRad с заданной программой:

1. Плавление ДНК – 95 °С – 4 минуты, 1 повтор;
2. А) 95 °С – 30 секунд – плавление ДНК;
3. Б) 52 °С – 30 секунд – отжиг праймеров;
4. В) 72 °С – 30 секунд – полимеризация
5. Количество циклов – 35;
6. 72 °С – 7 минут – досинтез, 1 повтор;
7. Хранение при 4 °С.

Для амплификации применялась «вложенная» ПЦР (nested PCR) с целью уменьшить число побочных продуктов реакции, которая осущест-

влялась в 2 шага: на первом шаге использовались праймеры ITS5 и P3, на втором шаге использовался 1 мкл полученной пробы в ходе первой амплификации в качестве матрицы с внутренними праймерами ITS5 и ITS4. Проверка результатов ПЦР осуществлялась с помощью электрофореза в 2 % агарозном геле. Качество ДНК препаратов было проверено в геле и через полимеразную цепную реакцию (ПЦР). Амплификацию проводили как со стандартным набором реактивов, так и с готовой смесью для ПЦР (ArtMix, АртБиотех). С готовой смесью реагентов ArtMix продукт ПЦР нарабатывался лучше и был более специфичным. Поставлена сиквенсовая реакция с одним из ампликонов, получившихся с праймерной комбинацией ITS5/ ITS4 с листьев дуба и клена. Наиболее успешная сиквенсовая реакция была с праймером ITS4.

Результаты и их обсуждение. На древесных породах (дуб, граб, ель, сосна, клен, ольха, береза, рябина, лещина, осина) представленных веточным отпадом, хвойным и листовым опадом, валежом в разной степени разложения было изучено видовое разнообразие дендрофильных микромицетов. Идентифицированно 153 вида микромицетов, из них 66 видов телеоморфы (аскомицеты), 80 видов представлены анаморфной стадией (гифо- и целомицеты) и 7 видов базидиомицетов. Средняя видовая насыщенность родов – 1-2 вида. В целом просматриваются определенные закономерности распределения грибов по крупным таксонам – большая часть из них относится к гифальным грибам – 52 %, далее следуют аскомицеты – 43 % и базидиомицеты – 5 %.

Большинство анаморфных грибов относится к группе микромицетов с гифальным типом спороношения – 43 вида и 37 видов к целомицетам и спородохиальным грибам [12]. В основном это сапротрофы, развивающиеся на хвойном и лиственном опаде и частично пересекающиеся с представителями группы лигнофильных гифомицетов. В отличие от гифомицетов практически все целомицеты являются биотрофами, поселяются на листьях, хвое и коре растений, и могут нанести значительный ущерб молодым деревьям.

Таксономический состав биоты микроскопических дендрофильных грибов специфичен на уровне отдельных растительных ассоциаций, где различная видовая насыщенность тех или иных родов является непосредственным отражением эколого-трофической структуры. Проведенный субстратный и видовой анализ показал, что дендрофильная микофлора является узкоспециализированной, т.е. приуроченной к определенному растению-хозяину, в отличие от филофильных микромицетов, которые поражают растения одного семейства, монофаги, в основном фитопатогенные виды вызывают болезни и угнетение роста. Это мучнисторосяные, ржавчинные, а также нектриевые грибы, вызывающие рак растений.

На хвое сосны было выявлено 5 видов ржавчинных грибов – *Coleosporium tussilaginis*, *C. tussilaginis f.sp. senecionis-silvatici* и *Melampsora populnea* (*Melampsora pinitorqua*), наиболее распространенным является C. tussilaginis. На ели отмечено значительное развитие ржавчины шишек – *Thekopsora*

areolata (*Pucciniastrum areolatum*), а также ржавчины хвои, вызываемой *Chrysomyxa ledi*. На лиственных породах отмечен гриб *Melampsoridium betulinum*, ранее на листьях ольхи был выявлен патоген *Melampsoridium hiratsukanum* [13]. Возбудитель шютте ели *Lirula nervisequa* отмечен единично. Дискомицеты рода *Lophodermium* вызывают шютте хвойных пород, нами отмечены виды *Lophodermium piceae* на хвое ели, *Lophodermium pinastri* и *L. seditiosum* на хвое сосны. Представители данного рода способны развиваться не только на хвое, но и на ветках, коре, древесине, шишках, ряд видов рода *Lophodermium* являются эндофитами, причем их мицелий развивается в течение длительного периода, до нескольких лет, бессимптомно во внешне здоровых тканях.

Грибы родов *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium* и некоторых других, составляют основу микокомплексов на валежной древесине, они развиваются в паренхимных клетках заболони. Поэтому древесина на этой стадии по существу не меняет свою структуру и физические свойства. Вслед за этими грибами в древесину проникает мицелий базидиальных грибов. Его сопровождают так называемые грибы-спутники (пенициллы), которые используют промежуточные продукты, образующиеся при разрушении древесины (лигно-целлюлозного комплекса) базидиальными грибами. Грибы-спутники – активные кислотообразователи, содействующие подкислению среды, что обеспечивает определенные условия, при которых в древесине еще более активно развивается мицелий основных дереворазрушителей – базидиальных и несовершенных грибов, способных разлагать клетчатку – *Trichoderma*, *Stachybotrys* и др., а также некоторые сумчатые грибы. По мере разрушения целлюлозы мицелий базидиальных грибов постепенно отмирает, частично разлагается с выделением аммиака и среда подщелачивается. Пенициллы сменяются другими видами – грибами родов *Haplographium, Sporotrichum*. Сапротрофные виды – *Cladosporium cladosporioides*, *Coniochaeta niesslii*, *Coniothyrium pini*, *Humicola grisea*, Trimmatostroma abieti s развиваются на отмерших тканях.

В зависимости от типа фитоценоза, породы дерева и других условий состав видов и родов грибов на разных стадиях разложения опада и валежа может несколько варьировать. Среди микромицетов дендрофилов преобладают в основном виды-сапротрофы (129 видов), биотрофы (24 вида):

сапротрофы на разложившейся древесине (ксилотрофы) – 18 видов;
сапротрофы на древесине – 72 вида;
сапротрофы на отмерших листьях и хвое – 39 видов;
биотрофы на коре деревьев – 9 видов;
биотрофы на листьях и хвое – 11 видов;
биотрофы на плодах и шишках – 4 вида.

Ниже приведен аннотированный список видового состава дендрофильных микромицетов, развивающихся на веточном и хвойном опаде, валеже разной степени разложения:

1. *Actinocladium rhodosporum* Ehrenb.
2. *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.
3. *Alternaria tenuissima* (Fr.) Wiltshire
4. *Arthrobotrys arthrobotryoides* (Berl.) Lindau
5. *Ascochyta ulmella* Sacc.
6. *Aureobasidium pullulans* (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud.
7. *Bertia moriformis* (Tode) De Not.
8. *Bisporella citrina* (Batsch) Korf & S.E. Carp.
9. *Botrytis cinerea* Pers.
10. *Brachysporium nigrum* (Link) S.
11. *Cercospora kriegeriana* Bres.
12. *Cercospora microsora* Sacc.
13. *Chaetomium globosum* Kunze
14. *Chaetosphaeria innumera* Berk. & Broome ex Tul. & C. Tul.
15. *Chalara cylindrosperma* (Corda) S. Hughes
16. *Cheirospora botryospora* (Mont.) Berk. & Broome
17. *Chlorociboria strobilina* (Alb. & Schwein.) Seaver
18. *Chlorosplenium aeruginascens* (Nyl.) P. Karst.
19. *Chrysomyxa ledi* (Alb. & Schwein.) de Bary
20. *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) de Vries.
21. *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link
22. *Cladosporium macrocarpon* Preuss.
23. *Cladosporium variabile* (Cooke) G.A. de Vries
24. *Coccomyces coronatus* (Schumach.) De Not
25. *Coleophoma empetri* (Rostr.) Petr.
26. *Coleosporium tussilaginis* (Pers.) Lév.
27. *Coniothyrium pini* Oudem.
28. *Cordana pauciseptata* Preuss
29. *Coronophora angustata* Fuckel
30. *Coryneum disciforme* Corda
31. *Coryneum sorbi* Peck
32. *Coryneum umbonatum* Nees
33. *Cryptocoryneum condensatum* (Wallr.) E.W. Mason & S. Hughes
34. *Cytospora pinastri* Fr.
35. *Diatrypella favacea* (Fr.) Ces. & De Not.
36. *Diplodia atrata* (Desm.) Sacc.
37. *Diplodia subtecta* Fr
38. *Diplodia tiliae* Fuckel
39. *Discosia artocreas var. quercina* Desm.
40. *Dothiora sorbi* (Wahlenb.) Fuckel
41. *Endophragmia pinicola* M.B. Ellis
42. Endophragmiella pinicola (M.B. Ellis) S. Hughes
43. *Erysiphe alphitoides* (Griffon&Maubl.) U. Braun &S. Takam.
44. *Erysiphe tiliae* (Eliade) U. Braun & S. Takam.
45. *Fenestella vestita* (Fr.) Sacc.
46. *Fusicladium betulae* Aderh.
47. *Fusidium griseum* Ditmar ex Link
48. *Gloeosporium betulinum* West.
49. *Gloeosporium quercinum* Westend.
50. *Gnomonia fimbriata* (Pers.) Fuckel
51. *Gymnosporangium juniperi* Link
52. *Harpographium fasciculatum* (Sacc.) Sacc.
53. *Helicosporium vegetum* Nees
54. *Helotium conformatum* P. Karst.
55. *Herpotrichia juniperi* (Duby) Petr.
56. *Humicola grisea* Traaen
57. *Hymenoscyphus albidus* (Gillet) Philips
58. *Hymenoscyphus herbarum* (Pers. ex Fr.) Dennis
59. *Hymenoscyphus immutabilis* (Fuckel) Dennis
60. *Hypocrea rufa* (Pers.) Fr.
61. *Hypocrea spinulosa* Fuckel
62. *Hypoxilon coccineum* Bull.
63. *Hypoxilon multiforme* Fr.

64. *Hypoxylon fragiforme* (Pers.) J. Kickx
65. *Hypoxylon fuscum* (Pers.) Fr.
66. *Hypoxylon nummularium* Bull.
67. *Hypoxylon serpens* (Pers.) J. Kickx
68. *Hysterium angustatum* Alb. & Schwein.
69. *Hysterium pulicare* Pers.
70. *Hysterobrevium mori* (Schwein.) E. Boehm & C.L. Schoch
71. *Hysterobrevium smilacis* (Schwein.) E. Boehm & C.L. Schoch
72. *Hysterographium fraxini* (Pers.) De Not.
73. *Kretzschmaria deusta* (Hoffm.) P.M.D. Martin
74. *Lachnum patulum* (Pers.) Rehm
75. *Lasiosphaeria spermoides* (Hoffm.) Ces. & De Not.
76. *Lasiosphaeris hirsuta* (Fr.) A.N. Mill. & Huhndorf
77. *Leptosphaeria eustomoides* Sacc.
78. *Lirula nervisequa* (DC.) Darker
79. *Lophiostoma fuckelii* Sacc.
80. *Lophiostoma macrostomoides* De Not.
81. *Lophium mytilinum* (Pers.) Fr.
82. *Lophodermium conigenum* (Brunaud) Hilitzer
83. *Lophodermium piceae* (Fuckel) Höhn.
84. *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall.
85. *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley & Millar
86. *Marssonina sorbi* Magnus
87. *Massaria gigantispora* Voglmayr & Jaklitsch
88. *Melampsora populnea* (Pers.) P. Karst.
89. *Melampsoridium betulinum* (Pers.) Kleb.
90. *Melampsoridium hiratsukanum* S. Ito ex Hirats
91. *Melanconium bicolor* Nees
92. *Melanomma ovoidea* (Fr.) Fuckel
93. *Microdiplodia tiliae* Allesch.
94. *Microsphaera aceris* Bunkina
95. *Mollisia melaleuca* (Fr.) Sacc.
96. *Monochaetia pachyspora* Bubák
97. *Monodictys levis* (Wiltshire) S. Hughes
98. *Myxocyclus polycystis* (Berk. & Broome) Sacc.
99. *Naemaspora croceola f. quercus* Sacc.
100. *Nectria cinnabarina* (Tode) Fr.
101. *Ophiostoma piceae* (Münch) Syd. & P. Syd.
102. *Oidium monilioides* (Nees) Link
103. *Orbilia delicatula* (P. Karst.) P. Karst.
104. *Penicillium corymbiferum* Westling
105. *Pestalotia betulae* Morochk.
106. *Pestalotia montellica* Sacc. & Voglino
107. *Pestalotia truncata* Lév.
108. *Phoma abietis* Briard ex Sacc.
109. *Phoma pinastri* (Oudem.) Sacc.
110. *Phragmotrichum chailletii* Kunze
111. *Phyllactinia fraxini* (DC.) Fuss
112. *Phyllactinia guttata* (Wallr.) Lév.
113. *Phyllosticta sorbi* Westend.
114. *Phyllosticta tiliae* Sacc. & Speg
115. *Phyllosticta ulmicola* Sacc
116. *Pleospora dura* Niessl
117. *Prosthemium betulinum* Kunze
118. *Pseudolachnea hispidula* (Schrad.) B. Sutton
119. *Pseudospiropes longipilus* (Corda) Hol.-Jech.
120. *Pseudostegia nubilosa* Bubák
121. *Pseudovalsa lanciformis* (Fr.) Ces. & De Not.
122. *Pseudovalsa profusa* (Fr.) G. Winter
123. *Pucciniastrum areolatum* (Fr.) G.H. Otth

124. *Rhytisma acerinum f. acerinum* (Pers.)
125. *Rosellinia obliquata* (Sommerf.) Sacc.
126. *Sawadaea bicornis* (Wallr.) Homma
127. *Scutellinia scutellata* (L.) Lambotte
128. *Septonema fasciculare* (Corda) S. Hughes
129. *Septoria quercina* Desm.
130. *Septotrullula bacilligera* Höhn.
131. *Sirococcus strobilinus* Preuss
132. *Spadicoides grovei* M.B. Ellis
133. *Spadicoides xylogena* (A.L. Sm.) S. Hughes
134. *Splanchnonema argus* (Berk. & Broome) Kuntze
135. *Stachybotrys hartarum* (Ehrenb.) S. Hughes
136. *Stemphylium botryosum* Wallr
137. *Taeniolella scripta* (P. Karst.) S. Hughes
138. *Tapesia hydrophila* (P. Karst.) Rehm
139. *Thysanophora penicillioides* (Roum.) W.B. Kendr.
140. *Trichoderma hamatum* (Bonord.) Bainier
141. *Trichosphaeria pilosa* (Pers.) Fuckel
142. *Trimmatostroma abietis* Butin & Pehl.
143. *Trimmatostroma betulinum* (Corda) S. Hughe
144. *Tripospermum myrti* (Lind) S. Hughes
145. *Triposporium elegans* Corda
146. *Troposporella fumosa* P. Karst.
147. *Tubercularia vulgaris* Tode
148. *Valsa abietis* Fr.
149. *Venturia acerina* Plakidas ex M.E. Barr
150. *Venturia alnea* (Fr.) E. Mull.
151. *Vuilleminia comedens* (Nees) Maire.
152. *Xylaria longipes* Nitschke
153. *Xylaria polymorpha* (Pers.) Grev.

Большинство анаморфных грибов являются сапротрофами, развивающимися на отмершей древесине, либо на живых, но ослабленных неблагоприятными факторами растениях. Основными факторами, определяющими пути формирования микобиоты в различных популяциях, являются экологические факторы (абиотические и биотические): условия в которых произрастает растение, виды растений, слагающих данный фитоценоз. Каждый из этих факторов оказывает своё действие как на возбудителя болезни, так и на растение-хозяина, ослабляя (в случае неблагоприятных условий) или, наоборот, усиливая его иммунологические свойства.

Однако, существует необходимость дополнительных исследований по идентификации видового состава не только грибов-возбудителей болезней растений, но также сопутствующих им видах. Полученные нами данные показывают, что ряд микромицетов, входящих в микокомплексы вызывают заболевания, многие из которых могут оказаться потенциально опасными для растений других лесных сообществ особо охраняемых территорий Беларуси.

Использование генетических методов определения позволило подтвердить нахождение на хвое сосне нового вида шютте – *Lophodermium conigenum* (Brunaud) Hilitzer, (рис. 1), идентификация данного вида тради-

ционными методами вызывет затруднения. Грибы рода *Lophodermium* характеризуются наличием темноокрашенных удлиненных субэпидермальных апотециев с оболочкой кожистой консистенции и щелевидным устьицем, сумки обычно булавовидно-цилиндрические с нитевидными, одноклеточными, гиалиновыми спорами, почти равными по длине сумкам (рис. 1). Имеются парафизы, обычно с булавовидным утолщением на конце, либо спиралевидно закрученные. Изучение литературных данных и сравнение их с белорусским материалом выявили некоторые отличия, в частности размеры спор у всех белорусских образцов *L. conigenum* варьируют в широком диапазоне, что вызывает затруднения при визуальном определении.



Рис. 1. Внешний вид плодовых тел шютте сосны *Lophodermium conigenum*

Fig. 1. The appearance of the fruit bodies of schutte pine *Lophodermium conigenum*

В программе BLAST сиквенс предполагаемого возбудителя шютте был идентифицирован в базе с 97 % сходством с *Lophodermium conigenum*. С праймером T3 получен сиквенс небольшого фрагмента ДНК с гомологией 97 % последовательности в генбанке KY742578.1, затем эта же ДНК была переамплифицирована и получен больший фрагмент с гомологией той же последовательности (рис. 2).

Всего с помощью ПЦР анализа было определено 13 видов грибов, входящих в микокомплекс дендрофильных микромицетов – *Pseudoidium sp*., *Filobasidium wieringae*, *Ampelomyces sp*., *Ampelomyces quisqualis*, *Erysiphe ornata*, *Erysiphe alphitoides*, *Herpotrichia juniperi*, *Cladosporium herbarum*, *Neofabraeae alba*, *Neofabraea vagabunda*, *Diaporthe eres*, *Nectria cinnabarina*, *Phomopsis velata*.

Получены также новые сиквенсы cytB митохондриальной ДНК *Erysiphe alphitoides*. Проведено сравнение имеющихся последовательностей гена cytB митохондриальной ДНК, сконструированы праймеры к данному гену, расположенные в наиболее консервативных областях, фланкирующие полиморфные области. Однако в генбанке пока отсутсвует достаточное количество референсных последовательностей, с которыми можно было бы сравнивать полученные нами результаты. Но по мере накопления данных по использованию митохондриальной ДНК микроскопических грибов это будет более точным определением нежели имеющиеся данные по использованию рибосомальной ДНК.

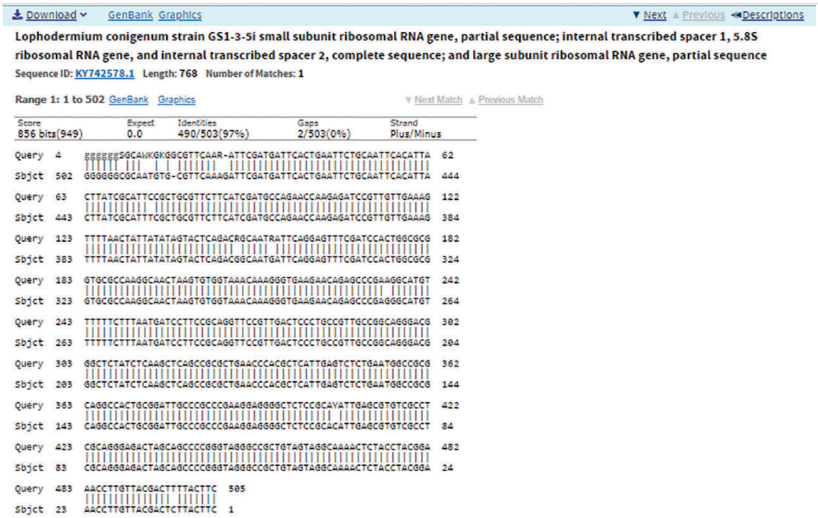


Рис. 2. Сопоставление полученного сиквенса гриба с хвои сосны с последовательностями в Genbank (97 % гомологии)
Fig. 2. Comparison of the obtained fungi sequence from pine needles with sequences in Genbank (97 % homology)

Проведенные генетические исследования грибной ДНК показали, что для каждого вида гриба существуют некоторые особенности в ведении протокола выделения ДНК и проведения полимеразной цепной реакции. Отработан протокол выделения грибной ДНК, подобраны наиболее благоприятные условия проведения ПЦР для получения достоверного результата, что позволило подтвердить нахождение нового вида микроскопического гриба – *Lophodermium conigenum* на хвое сосны, а также уточнить, что в процессе патогенеза участвует не один, а несколько патогенов.

Современный подход к таксономии гифомицетов – вынужденно комбинированный, учитывающий как результаты молекулярного анализа, так и тщательное изучение микроскопических и культуральных признаков грибов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б19ТЮБ009).

Литература

1. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман – Мн.: Наука и техника, 1982. – 326 с.

2. Шабашова, Т. Г. Атлас-определитель ксилотрофных грибов, кустистых и листоватых лишайников Национального парка «Беловежская пуща» / Т. Г. Ша-

башова, А. П. Яцына, Е. О. Юрченко, Д. Б. Беломесяцева, В. М. Арнольбик. – Брест: Альтернатива, 2016. – 248 с.

3. Шабашова, Т. Г. Гербофильные микромицеты дубрав национального парка «Беловежская пуща» / Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева, С. И. Кориняк // Сб. науч. тр. / Ин-т эксп. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2019. – Вып. 48: Ботаника (исследования). – С. 218–225.

4. Шабашова, Т. Г. Дендрофильные микромицеты хвойных лесов национального парка «Беловежская пуща» / Т. Г. Шабашова, Д. Б. Беломесяцева // Сб. науч. тр. / Ин-т эксп. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2020. – Вып. 49: Ботаника (исследования). – С. 220-227.

5. Liu, K. L. Accurate, Rapid Taxonomic Classification of Fungal Large-Subunit rRNA Genes./ K. L. Liu, A. Porras-Alfaro, Ch. Kuske // Appl. Environ. Microbiol. – 2012. – Vol. 78(5). – P. 1523–1533.

6. Билай, В. И. Методы экспериментальной микологии: справочник / В. И. Билай [и др.]; под общ. ред. В.И. Билай – Киев: Навукова думка, 1982. – 233 с.

7. Морочковский, С. Ф. Визначник грибів України: В 5-и т. / С. Ф. Морочковский, Г. Г. Радзіевский, М. Я. Зерова, О. Дудка и др.; Под ред. Д. К. Зерова – Київ: Наук. думка, 1971. – Т. 3: Несовершені гриби. – 696 с.

8. Гвритишвили, М. Н. Грибы рода Cytospora Fr. в СССР / М. Н. Гвритишвили – Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1982. – 214 с.

9. Мельник, В. А. Определитель грибов России. Класс Coelomycetes. Вып. 1. Редкие и малоизвестные роды / В. А. Мельник – СПб.: Наука, 1997. – 281 с.

10. Мельник, В. А. Определитель грибов России. Класс Hyphomycetes. Вып. 1. Сем. Dematiaceae / В. А. Мельник – СПб.: Наука, 2000. – 371 с.

11. Braun, U. A monograph of the Erysiphales (powdery mildews)/ U. Braun // Beihefte zur Nova Hedwigia – 1987. –Vol. 89. – P. 1–700.

12. Беломесяцева, Д. Б. Анаморфные грибы класса Coelomycetes в консорции хвойных пород Беларуси / Д. Б. Беломесяцева, Т. Г. Шабашова // Сб. науч. тр. / Ин-т эксп. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2020. – Вып. 49: Ботаника (исследования). – С. 172-177.

13. Звягинцев, В. Б. Melamsoridium hiratsukanum – новый возбудитель ржавчины ольхи и лиственницы в Беларуси / В. Б. Звягинцев, Д. Б. Беломесяцева, Т. Г. Шабашова // Минск, 2017. – Вып. 46: Ботаника (исследования). – С. 169–173.

Поступила в редакцию 21.11.2021 г.

Физиология и экология растений

Plant Physiology and Ecology

УДК 577.3:577.1:631.8

Н. Г. АВЕРИНА[1], С. М. САВИНА[1], И. А. ДРЕМУК[1],
А. В. ЕМЕЛЬЯНОВА[1], Ю. В. ПРИЩЕПЧИК[1], А. В. УСАТОВ[2]

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) С РАЗНЫМ УРОВНЕМ АНТОЦИАНОВ В КОЛЕОПТИЛЯХ

[1]*Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной Академии наук Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: irina dremuk@yandex.by*
[2]*Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: usatova@mail.ru*

Аннотация. Изучен ряд физиолого-биохимических характеристик 3-х сортов озимой пшеницы с красными («Эт W5») и зелеными («Велена» и «Влади») колеоптилями. Сорт «Эт W5» с высоким содержанием антоцианов (615±50 мкмоль/г сырой массы), хлорофиллов и каротиноидов и низкими уровнями гема и пролина в колеоптилях обладал высокой морозостойкостью (88% выживших растений, подвергшихся действию температуры –8 °С в течение 5-ти ч в возрасте 7-ми дней) и высокой способностью к продолжению роста и развития после перенесенного охлаждения. Сорта «Велена» и «Влади» с низким содержанием антоцианов (в среднем 25±6 мкмоль/г сырой массы) и каротиноидов, но более высокими уровнями гема и пролина в колеоптилях по сравнению с сортом «Эт W5», обладали соответственно высоким (89 % выживших растений) и низким (80 % выживших растений) уровнем морозостойкости и характеризовались низкой способностью к продолжению роста и развития после перенесенного охлаждения.

Ключевые слова: растения озимой пшеницы, сорт «Эт W5», сорт «Велена», сорт «Влади», колеоптили, морозоустойчивость, рост, адаптация, антоцианы, хлорофиллы, каротиноиды, гем, пролин, 5-аминолевулиновая кислота

N. G. AVERINA[1], S. M. SAVINA[1], I. A. DREMUK[1],
H. V. YEMELYANAVA[1], YU. V. PRISCHEPCHIK[1], A. V. USATOV[2]

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) VARIETIES WITH DIFFERENT LEVELS OF ANTHOCYANINS IN COLEOPTILES

[1]*Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: irina dremuk@yandex.by*
[2]*Southen Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: usatova@mail.ru*

Annotation. Physiological and biochemical characteristics of three varieties of winter wheat seedlings with red (“Et W5”) and green (“Velena” and “Vladi”) coleoptiles have been studied. Variety “Et W5” with an high content of anthocyanins (615±50 μmol/g fr wt), Chl and carotenoids and low levels of heme and proline in coleoptiles had high frost resistance (88 % of surviving plants exposed to temperatures of –8 °C for 5 hours at the age of 7 days) and a high ability to

continue growth and development after undergoing cooling. Varieties “Velena” and “Vladi” with a low content of anthocyanins (on average 25±6 μmol/g fr wt) and carotenoids, but higher levels of heme and proline in coleoptiles compared to varieties “Et W5”, had a correspondingly high (89 % of surviving plants) and low (80% of surviving plants) levels of frost resistance and were characterized by a low ability to continue growth and development after undergoing cooling.

Keywords: winter wheat plants, variety «Et W5», variety «Velena», variety «Vladi», coleoptiles, frost resistance, growth, adaptation, anthocyanins, chlorophylls, carotenoids, heme, proline, 5-aminolevulinic acid

Введение. Вторичные метаболиты растений – флавоноиды принадлежат к наиболее распространенному, многочисленному и бурно развивающемуся классу растительных полифенолов. Важнейшими представителями флавоноидов являются антоцианы – нефотосинтетические, водорастворимые пигменты, которые играют важную роль в развитии растений, их защите от патогенов и неблагоприятных факторов внешней среды [1]. Они накапливаются в вакуолях и окрашивают плоды, овощи, листья, цветы, зерна в розовый, красный, голубой, фиолетовый цвета и их различные сочетания. Антоциановые пигменты обладают огромным разнообразием физиологических функций, что определяет их высокую значимость в мире растений, животных и человека [1]. Они активно используются в фармакологической, косметической и пищевой промышленностях в качестве натуральных красителей и биологически активных соединений, обладающих окислительно-восстановительными, антиоксидантными, противовоспали-тельными и нейропротекторными свойствами.

В растениях антоцианы уменьшают степень фотоингибирования, а также ускоряют восстановление фотосинтетического аппарата растений [2]. Они активно поглощают излучение в УФ-области, защищая растения (в частности, генетический аппарат) от губительного действия УФ лучей [3]. Благодаря наличию в структуре молекул антоцианов ароматических колец и свободных гидроксильных групп они способны с легкостью вступать в свободнорадикальные реакции, связывать активные формы кислорода и перекисные радикалы, образующиеся при стрессовых воздействиях, выполняя при этом роль низкомолекулярных антиоксидантов [4, 5]. Очищенные растворы антоцианов удаляют практически все виды активных форм кислорода и азота с эффективностью в четыре раза большей, чем аскорбат и α-токоферол [6].

Потребность в антоцианах огромна, что стимулирует интенсивные исследования в области их биосинтеза, регуляции и применения. Большое будущее ожидает использование антоцианов в сельскохозяйственном производстве, в частности, в растениеводстве в качестве антистрессоров, способствующих повышению устойчивости растений, произрастающих в неблагоприятных условиях внешней среды [7, 8], таких как загрязнение тяжелыми металлами [9], обезвоживание [10], осмотический и солевой стрессы [11, 12], а также низкие температуры и заморозки [13–15]. Большое внимание уделяется изучению роли обогащенных антоцианами различных тканей и органов растений в формировании их стрессоустой-

чивости. Хорошим объектом для таких исследований является пшеница, для которой расшифрованы гены, контролирующие пигментацию отдельных ее органов, таких как колеоптили (*Rc*-гены), стебли (*Pc*), зерно (*R*), перикарп (*Pp*), пыльники (*Pan*) и др. [16, 17], а также показана регуляторная природа этих генов [12, 17]. Важная роль в формировании устойчивости растений к абиотическим и биотическим факторам внешней среды отводится колеоптилям пшеницы. Так, показана защитная роль антоцианов, содержащихся в колеоптилях проростков пшеницы, выращиваемых в присутствии ионов Cd [18]. Проростки близко изогенных линий пшеницы с интенсивно окрашенными в красный цвет колеоптилями и высоким содержанием антоцианов обладали большей устойчивостью к засухе по сравнению с растениями со слабо окрашенными органами и низким уровнем в них антоцианов [19]. Отмечена защита корневой системы и побегов от засухи в присутствии антоцианов в колеоптилях пшеницы [11]. Есть сообщение, что пшеница с интенсивно окрашенными колеоптилями, обладала высокой устойчивостью к заражению головней [20]. Особый интерес представляет озимая пшеница, которая является основной и важнейшей культурой в сельском хозяйстве Беларуси, находящейся в зоне неустойчивого или рискованного земледелия. Зимостойкость озимой пшеницы является одной из важнейших характеристик ее адаптивности. В работе [21] не было отмечено корреляции между уровнем антоцианов в колеоптилях пшеницы и холодоустойчивостью растений по ростовым показателям, а данные о наличии связи между содержанием антоцианов в колеоптилях и морозоустойчивостью растений пшеницы отсутствуют.

Представляло значительный интерес провести сравнительный анализ ряда физиолого-биохимических характеристик проростков отдельных сортов озимой пшеницы с разной окраской и содержанием антоцианов в колеоптилях. В качестве таких характеристик изучены ростовые показатели проростков и колеоптилей, пигменты фотосинтетического аппарата – хлорофиллы и каротиноиды, низкомолекулярные антиоксиданты – антоцианы и пролин, гем как важнейший компонент защитных ферментов пероксидаз и каталазы, а также дана оценка степени морозоустойчивости таких растений.

Объекты (материалы) и методы исследования. В качестве объектов исследования использовали 7-10-дневные проростки озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) 3-х сортов: «ЭтW5», характеризующегося красной окраской колеоптилей, а также сортов «Велена» и «Влади», характеризующихся зеленой окраской колеоптилей, но различающихся по ростовым показателям. Семена пшеницы высаживали в грунт «Восторг» и выращивали в лабораторных условиях при температуре +25±2 °С под люминесцентными лампами белого света (Philips TL-D 36W/765) в режиме 14 ч света/10 ч темноты до 7-10-дневного возраста, оценивая в них морфометрические и ряд биохимических показателей.

Длину колеоптилей и общую длину растений над зерновкой измеряли в см с помощью линейки по прошествии 7-8 дней после начала выращивания.

Для оценки морозоустойчивости 7-дневные проростки помещали в климатическую камеру (ClimaCell, Чехия) и выдерживали при температуре

–8ºС в течение 5 ч. Затем проростки переносили в нормальные условия выращивания при +25±2 °С на 24 ч, оценивали % выживших (выживаемость) или погибших проростков. Чтобы оценить *способность проростков к продолжению роста и развития* после перенесенного охлаждения, проростки переносили в нормальные условия выращивания и доращивали до 10-суточного возраста.

Содержание антоцианов определяли согласно методу [22]. Навеску 0,1 г свежего растительного материала растирали в 0,5 мл дистиллированной воды, содержащей 1 % HCl. Остаток в ступке еще раз смывали 0,5 мл раствора. К экстракту добавляли 1 мл хлороформа и центрифугировали 10 мин при 12000 g при температуре 4 °С. Супернатант отбирали и измеряли оптическую плотность при 525 нм на спектрофотометре «Solar PB 2201». Содержание антоцианов рассчитывали в мкмолях на г сырой массы (в эквиваленте цианидин-3-глюкозида), используя коэффициент молярной экстинкции 31,6 $М^{-1}см^{-1}$.

Для определения *содержания пролина* навеску листьев пшеницы (0,1 г) фиксировали жидким азотом, растирали в 1 мл 3 % сульфосалициловой кислоты и центрифугировали в течение 10 мин при 18000 g. К супернатанту (0,25 мл) добавляли равные объемы ледяной уксусной кислоты и кислого нингидринового реагента (0,25 г нингидрина в 10 мл раствора, содержащего ледяную уксусную кислоту, дистиллированную воду и 85 % ортофосфорную кислоту в соотношении 6:3:1). Пробы инкубировали в течение 1 ч при 90 °С. От оптической плотности раствора при 515 нм [23] переходили к содержанию пролина, используя калибровочную кривую.

Содержание хлорофиллов (Хл) и каротиноидов в колеоптилях определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [24]. Пигменты экстрагировали из 0,1 г свежего растительного материала 2 мл 100 %-ого ацетона, содержащего 100 мг $CaCO_3$. Разделение Хл и каротиноидов осуществляли на хроматографе высокого давления Shimadzu Prominence LC 20 (Япония) с хроматографической колонкой Nucleodur C18 Gravity (тип C18, размер частиц 3 мкм, длина 15 см) фирмы Macherey-Nagel (Германия). В качестве элюента А использовали раствор, содержащий 90 % ацетонитрила, 9,9 % дистиллированной H_2O и 0,1 % триэтиламина, в качестве элюента В – 100 %-ный этилацетат. Скорость потока элюентов составляла 0,5 мл/ мин. Регистрацию пигментов проводили по спектрам поглощения в диапазоне 200–700 нм с помощью детектора с диодной матрицей. Идентификация пиков осуществлялась по спектрам поглощения [24]. Для визуализации профиля хроматограммы выделяли спектр поглощения при 440 нм. Для количественного определения Хл и каротиноидов использовали площади пиков хроматограммы.

Содержание пигментов рассчитывали по формуле:

$$C_{пигм} = \frac{S_{440} \cdot F_{пигм} \cdot V}{V_{инъекц} \cdot m},$$

где $C_{пигм}$ – содержание пигмента (мкг/г сырой массы); S_{440} – площадь пика поглощения при 440 нм; $F_{пигм}$ – фактор (коэффициент) для расчета; V – объ-

ем супернатанта (2 мл); $V_{инъекц}$ – объем инъекции (20 мкл), m – масса навески (0,1 г).

Таблица 1. Последовательность выхода пигментов из колонки и факторы для расчета концентрации Хл и каротиноидов

Table 1. Sequence of the release of pigments from the column and factors for calculating the concentration of Chl and carotenoids

№ п/п	Название пигмента Pigment name	Значение фактора для расчета концентрации Factor value for concentration calculation
1	Неоксантин	$65 \cdot 10^{-9}$
2	Виолоксантин	$44 \cdot 10^{-9}$
3	Антераксантин	$56 \cdot 10^{-9}$
4	Лютеин	$45 \cdot 10^{-9}$
5	Зеаксантин	$81 \cdot 10^{-9}$
6	Хл *b*	$182 \cdot 10^{-9}$
7	Хл *a*	$189 \cdot 10^{-9}$
8	β-каротин	$88 \cdot 10^{-9}$

Содержание нековалентно связанного с белками гема определяли согласно [25]. Из навески 0,5 г растительного материала извлекали Хл и свободный гем в смесь ацетон:0,1 н NH_4OH (9:1, V:V). Из оставшихся осадков экстрагировали нековалентно связанный с белками гем смесью кислого ацетона (0,5 мл концентрированной HCl в 10 мл ацетона) и ДМСО (диметилсульфоксида). Гем переводили в диэтиловый эфир, после чего концентрировали на колонке с ДЭАЭ-сефарозой CL-6B, элюировали смесью 96 % этанол:ледяная уксусная кислота:вода (81:9:10, V:V:V) и его количество определяли по спектрам поглощения при λ = 398 нм (молярный коэффициент экстинкции 144 $мМ^{-1}$ $см^{-1}$).

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали стандартные пакеты программ «Excel 2010», «Sigma Plot 10.0» и статистические методы, принятые в области биологических исследований. Статистическая обработка данных состояла в определении средней квадратичной ошибки их среднего. Приведены средние значения из 3-х независимых экспериментов и их стандартные ошибки.

Результаты и их обсуждение. Оценка содержания антоцианов в колеоптилях 7-дневных проростков трех сортов озимой пшеницы показала, что у сорта «Эт W5» с красными колеоптилями оно составило в среднем 615±50 мкмоль/г сырой массы, что практически в 25 раз превышало таковое в сортах с зелеными колеоптилями – «Велена» (24,6±4 мкмоль/г сырой массы) и «Влади (25,7±8 мкмоль/г сырой массы).

В 7-дневном возрасте растения сортов «Эт W5», «Велена» и «Влади» отличались и по морфометрическим характеристикам (рис. 1). Так, средняя высота надземной части проростков сорта «ЭтW5» составляла 12,2±1,0 см, «Велены» – 10,5±0,7 см и сорта «Влади – 13,1±0,7 см.

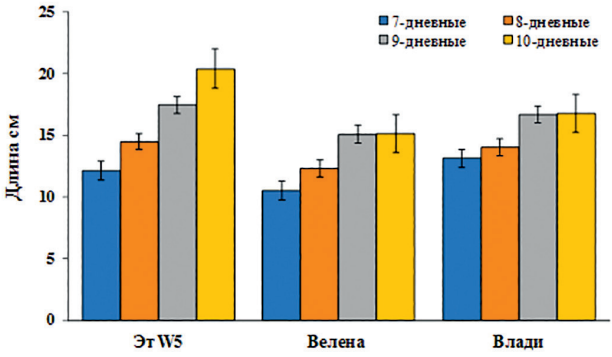


Рис. 1. Длина надземной части проростков сортов «Эт W5», «Велена» и «Влади», которые в 7-дневном возрасте находились в морозильной камере при –8 °С в течение 5 ч, а затем вновь перенесены в обычные условия выращивания

Fig. 1. The length of the above-ground part of the seedlings in varieties "Et W5", «Velena» and "Vladi", which at 7 days of age were placed in a freezer at –8 °C for 5 h, and again transferred to normal growing conditions

Длина колеоптилей у проростков этих сортов составила – 2,5±0,7; 2,0±0,7 и 2,3±0,7 см соответственно (рис. 2). Отчетливо видно, что минимальными показателями обладал сорт Велена – 86 % от высоты проростков сорта «Эт W5» (рис. 1) и 80 % от высоты колеоптилей этого же сорта (рис. 2).

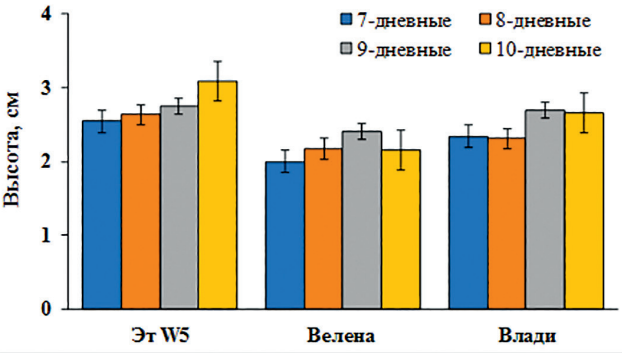


Рис. 2. Высота колеоптилей (см) у проростков сортов «Эт W5», «Велена» и «Влади», которые в 7-дневном возрасте находились в морозильной камере при –8 °С в течение 5 ч, а затем вновь перенесены в обычные условия выращивания

Fig. 2. The height of coleoptiles in seedlings of varieties "Et W5", «Velena» and "Vladi", which at 7 days of age were placed in a freezer at –8 °C for 5 h, and again transferred to normal growing conditions

Сорт «Влади» незначительно (в пределах 7–10 %) отличался по этим показателям от сорта «Эт W5».

Наряду с этим была проведена оценка морозоустойчивости изучаемых сортов. Проростки озимой пшеницы в возрасте 7-ми дней выдерживали в течение 5 ч при температуре –8 °С и подсчитывали упавшие стебли сразу после выноса растений из камеры и на следующие сутки после использования низкой температуры. Сорта с низким и практически одинаковым уровнем антоцианов «Велена» и «Влади» показали, тем не менее, разную морозоустойчивость – высокую в случае «Велены» (89 % выживших растений) и более низкую у сорта «Влади» (80 % выживших растений). Морозоустойчивость сорта «Эт W5» в среднем была близка к показателям морозоустойчивости сорта «Велена» (88 % выживших растений) – рисунок 3.

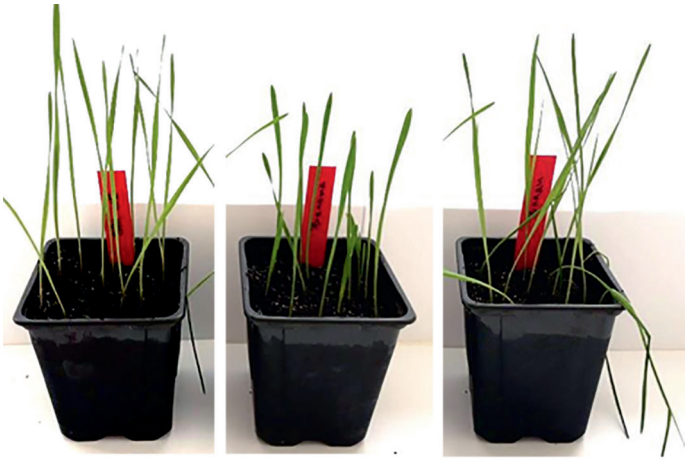


Рис. 3. Внешний вид 8-дневных проростков озимой пшеницы сортов «Эт W5», «Велена» и «Влади», которые в 7-дневном возрасте находились в морозильной камере при –8 °С в течение 5 ч. Результаты индивидуального опыта. Фотография сделана через сутки после промораживания

Fig. 3. Appearance of 8-day-old seedlings of winter wheat varieties “Et W5”, «Velena» and “Vladi”, which at 7 days of age were placed in a freezer at –8 °C for 5 h. Results of individual experience. The photo was taken one day after freezing

Одним из показателей морозоустойчивости растений к условиям смены режима выращивания, является их способность к продолжению роста и развития после перенесенного охлаждения. Наблюдение за ростом растений после перенесенного в возрасте 7 дней охлаждения показало, что через сутки после воздействия мороза прирост надземной части растений сорта «Эт W5» составил 2,3 см, 1,7 см – у растений сорта «Велена»

и 0,88 см у проростков сорта «Влади» (рис. 1). Через 2 суток после перенесенного охлаждения прирост надземной части проростков сорта «Эт W5» с красными колеоптилями составил 3 см, в то время как у растений с зелеными колеоптилями (сорта «Велена» и «Влади») прирост надземной части зафиксирован не был. В целом, через трое суток после охлаждения прирост длины проростков сорта «Велена» составил 4,6 см, сорта «Влади» – 3,4 см, что значительно ниже, чем у сорта с красными колеоптилями – «Эт W5» – 8,2 см.

Аналогичная закономерность наблюдалась и при оценке ростовых характеристик колеоптилей. После перенесенного мороза прирост колеоптилей на 10-й день вегетации у сорта «Эт W5» в среднем составил 0,6 см, у сорта «Велена» – 0,2 см и у сорта «Влади» – 0,3 см (рис. 2). Таким образом, проростки с красными колеоптилями показали высокую способность к сохранению жизнеспособности после перенесенного охлаждения.

В колеоптилях проростков исследуемых сортов было изучено содержание фотосинтетических пигментов – Хл *a*, *b* и каротиноидов. В проростках «Эт W5» и «Велена» содержание Хл *a* (212±16 мкг/г сырой массы и 237±15 мкг/г сырой массы соответственно) и Хл *b* (83±6 мкг/г сырой массы и 89±7 мкг/г сырой массы соответственно) различалось незначительно. Тем не менее, следует отметить, что содержание Хл *a* и *b* в колеоптилях растений сорта «Велена» во всех опытах всегда превышало аналогичные показатели в колеоптилях растений сорта «Эт W5». Во всех экспериментах у проростков сорта «Влади», обладающего самой низкой морозоустойчивостью, содержание Хл *a* и *b* оказывалось всегда ниже по сравнению с их содержанием в сортах «Эт W5» и «Велена – 179±19 мкг/г сырой массы в случае Хл *a* и 68±7 мкг/г сырой массы в случае Хл *b*. Данные по содержанию фотосинтетических пигментов коррелировали с данными по морозоустойчивости разных сортов пшеницы, что может указывать на важную роль фотосинтетических пигментов и, следовательно, фотосинтеза в формировании морозоустойчивости.

Общее содержание каротиноидов у сорта «Эт W5» с красными колеоптилями и высоким содержанием антоцианов было значительно выше (409±63 мкг/г сырой массы) по сравнению с содержанием каротиноидов в колеоптилях проростков сорта «Вилена» (294±69 мкг/г сырой массы). Как и в случае с Хл самое низкое содержание каротиноидов было зарегистрировано у сорта «Влади» (246±26 мкг/г сырой массы). Такой же характер распределения между сортами наблюдали и при оценке содержания индивидуальных каротиноидов, ксантофиллов – виолаксантина, антераксантина, лютеина, а также бескислородного каротиноида ß-каротина (рис. 4).

Наряду с Хл был осуществлен анализ содержания еще одного важнейшего продукта в системе синтеза тетрапиролов – гема. Гем-содержащие белки участвуют в связывании кислорода, дыхании, детоксикации активных форм кислорода (пероксидазы, каталаза), транспорте электронов в ходе окислительного и фотосинтетического фосфорилирования

(цитохромы) и восстановлении нитратов высшими растениями (нитратредуктаза и нитритредуктаза). Наряду с этим, гем осуществляет тонкий контроль над образованием и активностью ряда ферментов, участвующих в биосинтезе тетрапирролов, в частности, осуществляющих синтез 5-аминолевулиновой кислоты [26].

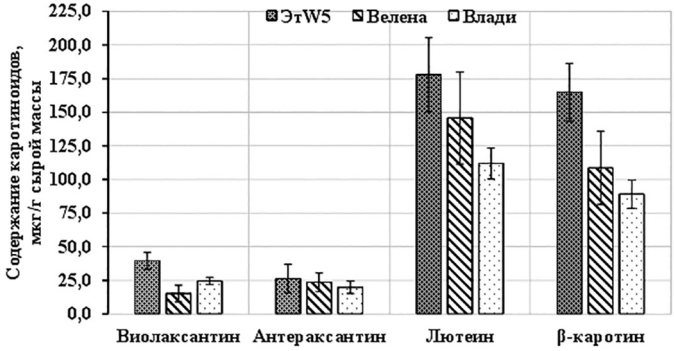


Рис. 4. Содержание ксантофиллов и β-каротина в колеоптилях 8-дневных проростков озимой пшеницы сортов «Эт W5», «Велена» и «Влади»

Fig. 4. Content of xanthophylls and β-carotene in coleoptiles of 8-day-old seedlings of winter wheat varieties "Et W5", "Velena" and "Vladi"

Был оценен уровень *нековалентно связанного с белками гема*, который составляет основную часть клеточного гема, а в хлоропластах в 3 раза превышает количество ковалентно связанного с белками гема. Содержание гема, напротив, оказалось самым низким у сорта «Эт W5» (5,0±1,6 нмоль/г сырой массы – 100%) по сравнению с сортом «Велена» (6,3±0,5 – 125%) и с сортом «Влади» (6,8±0,9 – 135%). Поскольку гем, являясь компонентом пероксидаз и каталазы, участвует в защитных реакциях растений, полученные результаты не исключают его влияния на стрессоустойчивость сортов «Велена» и «Влади».

В следующей серии экспериментов мы изучили содержание универсального стресс-протектора пролина. Пролин является обязательным компонентом растительной клетки. В условиях стресса содержание свободного пролина многократно возрастает и в настоящее время он рассматривается как универсальный антистрессор, выполняющий целый ряд защитных функций, в частности, участвуя в качестве тушителя синглетного кислорода и H_2O_2, а также перехватчика свободных радикалов [27, 28]. Как и в случае с гемом, самый низкий уровень пролина (89±18 мкг/г сырой массы – 100 %) наблюдали в колеоптилях сорта «Эт W5» (рис. 5). В обоих сортах с низким содержанием антоцианов уровень пролина был значительно выше. У «Велены» – 119±17 мкг/г сырой массы (133 %). Наибольшее содержание пролина отмечено у сорта «Влади», обладающего

низкой морозоустойчивостью – 212±15 мкг/г сырой массы – 238 %. Полученные результаты указывают на то, что в при низком уровне антоцианов важную роль в морозоустойчивости растений играет универсальный антистрессор пролин, к которому в условиях температурного стресса переходит функция основного защитного агента.

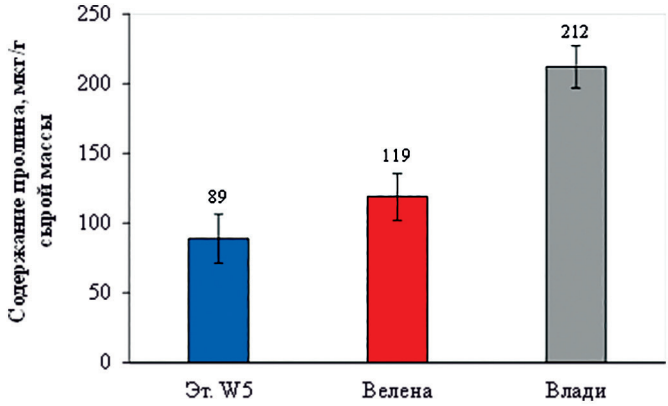


Рис. 5. Содержание пролина в колеоптилях 8-дневных проростков озимой пшеницы сортов «ЭТ W5», «Велена» и «Влади»
Fig. 5. The content of proline in coleoptiles of 8-day-old seedlings of winter wheat varieties "Et W5", "Velena" and "Vladi"

Заключение. Таким образом, изучены 3 сорта озимой пшеницы с красными («Эт W5») и зелеными («Велена» и «Влади») колеоптилями. Сорт «Эт W5» обладал высоким уровнем морозостойкости и высокой способностью к продолжению роста и развития после перенесенного охлаждения. Растения с зелеными колеоптилями – сорт «Велена» с низким содержанием антоцианов в колеоптилях и с высоким уровнем морозостойкости и сорт «Влади», также с низким содержанием антоцианов, но более низким уровнем морозостойкости характеризовались низкой способностью к продолжению роста и развития после перенесенного охлаждения.

Содержание Хл *a* и *b* в колеоптилях растений сорта «Велена» практически во всех опытах незначительно превышали аналогичные показатели в колеоптилях растений сорта «Эт W5». У проростков сорта «Влади», обладающего самой низкой морозоустойчивостью, содержание Хл *a* и *b* оказывалось в среднем на 20 % ниже по сравнению с их содержанием в сортах «Эт W5» и «Велена». Как общее содержание каротиноидов, так и содержание ксантофиллов – виолаксантина, антераксантина, лютеина и бескислородного β-каротина было самым высоким у сорта «Эт W5» и самым низким у сорта «Влади», что в целом указывает на важную роль фотосинтетических пигментов и, следовательно, фотосинтеза в формировании морозоустойчивости.

Содержание гема, как компонента защитных ферментов – пероксидаз и каталазы, было самым низким у обогащенного антоцианами сорта «Эт W5». Отмечена лишь тенденция повышения содержания гема в колеоптилях сортов с низким уровнем антоцианов по сравнению с сортом «Эт W5». Содержание универсального стресс-протектора пролина было значительно выше у сортов с низким содержанием антоцианов. Полученные результаты указывают на то, что в условиях низкого уровня антоцианов основную роль в морозоустойчивости растений играет универсальный антистрессор пролин, который в условиях стресса берет на себя функцию главного защитного агента. Высокое содержание антоцианов, а также фотосинтетических пигментов в колеоптилях растений озимой пшеницы на фоне низкого уровня гема и пролина обеспечивает проросткам высокую морозоустойчивость и способность к последующей адаптации после перенесенного охлаждения.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке БРФФИ (договор № Б20ГРМГ-001) в рамках международного проекта «Расшифровка взаимозависимых механизмов управления биосинтезом хлорофилла и антоцианов в условиях абиотического стресса». Авторы также выражают искреннюю благодарность к.б.н., доценту Гордею С. И. – руководителю отдела озимых зерновых культур в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» за предоставление семян сортов озимой пшеницы.

Литература

1. Peer, W. A. Flavonoids as Signal Molecules: Targets of Flavonoid Action / W. A. Peer, A. S. Murphy // The Science of Flavonoids / Edited by P. E. Grotewald. – N.Y.: Springer, 2008. – Ch. 9. – P. 239–268.

2. Feild, T. S. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood / T. S. Feild, D. W. Lee, N. M. Holbrook // Plant Physiol. – 2001. – Vol. 127, N2. – P. 566–574.

3. Giusti, M. M. Molar absorptivity and color characteristics of acylated and non-acylated pelargonidin-based anthocyanins / M. M. Giusti, L. E. Rodriguez-Saona, R. E. Wrolstad // J Agric Food Chem. – 1999. – Vol. 47, N11. – P. 4631–4637.

4. Shi, M. Z. Biosynthesis and Metabolic Engineering of Anthocyanins in Arabidopsis thaliana / M. Z .Shi, D. Y. Xie// Recent Pat Biotechnol. – 2014. – Vol. 8. – P. 47–60.

5. Zhao, H. J. Protective effects of exogenous antioxidants and phenolic compounds on photosynthesis of wheat leaves under high irradiance and oxidative stress / H. J. Zhao, Q. Zou // Photosynthetica. – 2002. – Vol. 40, N 4. – P. 523–527.

6. Wang, H. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins / H. Wang, G. Cao, R L. Prior // J Agric Food Chem. – 1997. – Vol. 45, N 2. – P. 304–309.

7. Chalker-Scott, L. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? // Anthocyanins in Leaves / ed.: K.S. Gould, D.W. Lee, 2002. – Vol. 37. – P. 103–127.

8. Chalker-Scott, L. Environmental Significance of Anthocyanins in Plant Stress Responses / L. Chalker-Scott // Photochem Photobiol . – 1999. – Vol.70. – P. 1–9.

9. Hale, K. L. Molybdenum sequestration in Brassica species. A role for anthocyanins / K. L. Hale, S. P. McGrath, E. Lombi, S. M. Stack, N. Terry, I. J. Pickering, G. N. George, E. A. H. Pilon-Smits // Plant Physiol. – 2001. – Vol. 126 (4). – P. 1391–1402.

10. Gould, K. S. Nature's Swiss Army Knife: The Diverse Protective Roles of Anthocyanins in Leaves / K. S. Gould // I Biomed Biotechnol. – 2004. – Vol. 5. – P. 314–320.

11. Shoeva, O. Y. Anthocyanins participate in protection of wheat seedlings from osmotic stress / O. Y. Shoeva, E. I. Gordeeva, V. S. Arbuzova, E. K. Khlestkina // Cereal Research Communications. – 2017. – Vol. 45 (1). – P. 47–56.

12. Shoeva, O. Y. The specific features of anthocyanin biosynthesis regulation in wheat / O. Y. Shoeva, E. K. Khlestkina // Advances in wheat genetics: from genome to field : proceedings of the 12th International wheat genetics symposium. – 2015. – P. 147–157.

13. Weger, H. G. Photosynthetic acclimation to low temperature by western red cedar seedlings / H. G. Weger, S. N. Silim, R. D. Guy // Plant, Cell and Environment. – 1993. – Vol.16. – P.711–717.

14. Schulz, E. Natural variation in flavonol and anthocyanin metabolism during cold acclimation in Arabidopsis thaliana accessions / E. Schulz, T. Tohge, E. Zuther, A. R. Fernie, and D. K. Hincha // Plant Cell Environ. – 2015. – Vol.38. – P. 1658–1672.

15. Ahmed, N.U. Characterization of dihydroflavonol 4-reductase (DFR) genes and their association with cold and freezing stress in Brassica rapa / N. U. Ahmed, J. I. Park, H. J. Jung, T. J. Yang, Y. Hur, I. S. Nou // Gene. – 2014. – Vol. 550 (1). – P. 46–55.

16. Himi, E. Colour genes (R and Rc) for grain and coleoptile upregulate flavonoid biosynthesis genes in wheat / E. Himi, A. Nisar, K. Noda // Genome. – 2005. – Vol. 48. – P. 747–754.

17. Аджиева, В. Ф. Молекулярно-генетические механизмы формирования окраски плодов и семян растений / В. Ф. Аджиева, О. Г. Бабак, О. Ю. Шоева, А. В. Кильчевский, Е. К. Хлесткина // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Vol. 19 (5). – P. 561–573.

18. Shoeva, O. Y. Anthocyanins participate in the protection of wheat seedlings against cadmium stress / O.Y., Shoeva E.K. Khlestkina // Cereal Research Communications. – 2018. – Vol. 46 (2). – P. 242–252.

19. Tereshchenko, O. Y. Relationship between anthocyanin biosynthesis and abiotic stress in wheat / O. Y. Tereshchenko, E. K. Khlestkina, E. I. Gordeeva, V. S. Arbuzova, E. A. Salina // In: A. Börner, B. Kobijlski (eds), Proc.15th EWAC Conf. – 2011, Novi Sad. – P. 72–75.

20. Bogdanova, E.D. Resistance of common wheat to bunt / E.D. Bogdanova, A.T. Sarbaev, K.K. Makhmudova // Proceedings of the research conference on genetics. – 2002, Moscow. – P. 43-44.

21. Gordeeva, E. I. Cold Stress Response of Wheat Genotypes Having Different Rc Alleles / E. I. Gordeeva, O. Y. Shoeva, E. K. Khlestkina // Cereal Res Commun. 2013. – Vol. 41. – P. 519–526.

22. Mabry, T. J. The systematic identification of flavonoids / T. J. Mabry, K. R. Markham, M. B. Thomas – Berlin: Springer, 1970. – 354 p.

23. Misra N., Gupta A. K. Effect of Salt Stress on Proline Metabolism in Two High Yielding Genotypes of Green Gram // Plant Sci. – 2005. – Vol. 169. – P. 331–339.

24. Rodriguez-Amaya, D. B. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis / D. B. Rodriguez-Amaya, M. Kimura. – Washington: Harvest Plus, 2004. – 63 p.

25. Weinstein, J. D. Separate physiological roles and subcellular compartments for two tetrapyrrole biosynthetic pathways in Euglena gracilis / J. D. Weinstein, S. I. Beale // J. Biol. Chem. – 1983. – Vol. 258, N. 11. – P. 6799–6807.

26. Аверина, Н. Г. Биосинтез тетрапирролов в растениях / Н. Г. Аверина, Е. Б. Яронская. – Минск: «Беларуская навука», 2012. – 413 с.

27. Кузнецов, Вл. В. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / Вл. В. Кузнецов, Н. И. Шевякова // Физиол. раст. – 1999. – Т. 46. – С. 321–336.

28. Kishor, P. V. K. Regulation of Proline Biosynthesis, Degradation, Uptake and Transport in Higher Plants: Its Implication in Plant Growth and Abiotic Stress Tolerance / P.V.K. Kishor [et al.] // Curr. Sci. – 2005. – Vol. 88. – P. 424–438.

Поступила в редакцию 13.07.2021 г.

УДК 581.1

Н. В. БАЛЮК[1], Н. А. ЛАМАН[1], Ж. Н. КАЛАЦКАЯ[1], А. Н. ГРИЦ[1],
М. Н. МАНДРИК-ЛИТВИНКОВИЧ[2], Н. И. ГИРИЛОВИЧ[2]

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) ПРИ ОБРАБОТКЕ БИОПРЕПАРАТАМИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ

[1]*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: balyuck.natalya@yandex.ru*
[2]*Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: mandryk_maryna@tut.by*

Аннотация. На основании физиолого-биохимических особенностей растений картофеля, развивающихся в различных условиях почвенного влагообеспечения, установлено, что для проведения лабораторных опытов оптимальная влагоёмкость почвогрунта на основе торфа составляет 80–100 %, а при моделировании условий водного дефицита 40–45 % от ПВ. Биопрепарат «Бактопин» способствовал формированию устойчивости растений картофеля к водному дефициту, что отражалось в увеличении содержания пролина и пероксидазной активности. Биопрепарат «Макрофитум» вызвал только значительное увеличение пероксидазной активности, что также является признаком адаптационных процессов у растений. Обработка биопрепаратом «Карфил» сопровождалась снижением активности пероксидазы и содержания пролина, что может свидетельствовать об отсутствии развития резистентности у растений или о реализации иной адаптационной стратегии к стрессу, вызванного водным дефицитом.

Ключевые слова: картофель, *Solanum tuberosum* L., влагоемкость почвогрунта, водный дефицит, пероксидаза, пролин, фенольные соединения, фотосинтетические пигменты, биопрепараты

N. V. BALIUK[1], N. A. LAMAN[1], J. N. KALATSKAJA[1], A. N. GRITS[1],
M. N. MANDRYK-LITVINKOVICH[2], N. I. GIRILOVICH[2]

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PECULIARITIES OF POTATO PLANTS (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF PEAT-BASED SOIL MOISTURE SUPPLY DURING TREATMENT WITH BIOLOGICS

[1]*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: balyuck.natalya@yandex.ru*
[2]*Institute of Microbiology of the National Academy of Belarus, Minsk, Belarus*

Annotation. On the basis of the physiological and biochemical characteristics of the potato plants developing under different conditions of soil moisture supply, it was found that for laboratory experiments, the optimal moisture capacity of peat-based soil is 80–100%, and 40–45% under simulated conditions of water deficit. The “Baktopin” biologics promoted the formation of potato plants resistance to water deficiency following by an increase of the proline content and peroxidase activity. The “Macrophytum” biologics caused a significant increase in peroxidase activity due to adaptation processes in plants. Treatment with the “Karfil” biologics was accompanied by

a decrease in peroxidase activity and proline content that may indicate the absence of the plants resistance development or the implementation of a different adaptation strategy to overcome the stress caused by water deficiency.

Keywords: potato, *Solanum tuberosum* L., peat moisture capacity, water deficit, peroxidase, proline, phenolic compounds, photosynthetic pigments, biologics

Введение. Выращивание и реализация картофеля (*Solanum tuberosum* L.), является важнейшей составной частью современного агропродовольственного рынка нашей страны [1]. Он служит ценным источником углеводов, антиоксидантов, витаминов и сырьем для производства крахмала [2]. По валовому производству картофеля Беларусь занимает 8 место среди самых крупных производителей этой культуры в мире. Согласно прогнозам ФАО, мировое производство картофеля ежегодно будет увеличиваться на 2,5 %. В результате рыночный спрос на эту культуру и продукты ее переработки в перспективе будут расти [1].

Водный дефицит является лимитирующим фактором при выращивании картофеля во многих странах мира. Рост и развитие картофеля, накопление урожая клубней в значительной степени зависят от влажности почвы. Эта зависимость у картофеля выражена намного сильнее, чем у других видов сельскохозяйственных культур [3]. Дефицит влаги индуцирует у растений усиленное образование активных форм кислорода (АФК) в хлоропластах и других клеточных компартментах. Накопление АФК вызывает окислительный стресс, приводящий к повреждению мембран, нуклеиновых кислот, инактивации ферментов, разрушению пигментов [4, 5]. Растения преодолевают негативное влияние водного стресса путем накопления совместимых осмолитов, таких, в частности, как сахара и аминокислоты (в первую очередь пролина), которые способствуют поддержанию осмотического баланса клеток, предотвращению дезинтеграции мембран и ингибирования ферментов. Пролин и растворимые углеводы обладают также антиоксидантными свойствами [6, 7].

Известно, что PGPB (*plant growth promoting rhizobacteria*) индуцируют системную устойчивость растений к широкому кругу абиотических стрессов, в том числе к засухе, засолению, тяжелым металлам [8–13].

В Институте микробиологии НАН Беларуси на основе ризосферных микроорганизмов разработаны и внедрены отечественные микробные препараты различного назначения, широко используемые в сельском хозяйстве. Некоторые из них имеют, в том числе, и ростстимулирующую активность [14]. Однако воздействие неблагоприятных экологических факторов может вызвать ингибирование активности полезных форм микроорганизмов, что впоследствии повлияет на эффективность инокуляции и исказит ожидаемую реакцию растений на внесение биопрепарата. Исследования ростстимулирующей активности ризосферных микроорганизмов в условиях абиотического стресса в настоящее время весьма актуальны.

Цель работы: разработка лабораторной модели, наиболее четко отражающей рост и развитие растений картофеля в условиях ex vitro при оп-

тимальной влажности почвы и в стрессовых условиях водного дефицита; выявление физиолого-биохимических особенностей растений в разных условиях влагообеспечения при обработке ростстимулирующими биопрепаратами.

Объекты (материалы) и методы исследования. Опыты проведены на клонально микроразмноженных растениях картофеля белорусской селекции сорта Бриз. Адаптацию растений-регенерантов на этапе *ex vitro* осуществляли на почвогрунте из верхового торфа торговой марки Двина.

Моделирование условий почвенной засухи осуществляли весовым методом, а также с помощью влагомера ТР 001 (Китай) через неделю после укоренения растений и продолжали в течение двух недель. Для этого предварительно определяли полную влагоемкость почвогрунта на основе торфа торговой марки Двина. Полной влагоемкостью называют количество воды, удерживаемой почвой в состоянии полного насыщения; при этом все почвенные поры (капиллярные и некапиллярные) заполнены водой. При такой влагоемкости вода содержится в почве во всех формах – гигроскопической, пленочной, капиллярной и гравитационной. Для определения полной влагоемкости предварительно взвешенные цилиндры, заполняли почвогрунтом без уплотнения до верхнего края, закрывали крышками и снова взвешивали, затем погружали в вертикальном положении в сосуд с водой, сохраняя над ними слой воды не менее 50 мм. Массу почвогрунта, насыщаемого водой, определяли после 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72 ч от начала намокания до тех пор, пока различие между результатами двух последующих взвешиваний не превышало 2 г исходной массы испытуемого образца [15].

Растения картофеля выращивали на 7 вариантах почвогрунтов, различающихся по содержанию воды:100 % полная влагоемкость (ПВ), 90 % от ПВ, 80 % от ПВ, 70 % от ПВ, 60 % от ПВ, 50 % от ПВ, 40 % от ПВ.

Далее для изучения действия биопрепаратов растения выращивали при выявленной оптимальной влажности почвогрунта – 80–85 % от ПВ и в условиях водного дефицита – 40–45 % от ПВ.

Адаптированные растения обрабатывали путем опрыскивания листовой поверхности отечественными биопрепаратами: «Карфил» (клетки, споры и продукты метаболизма спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis*) в концентрации 1×107 КОЕ, «Бактопин» (азотфиксирующий штамм *Rahnella aquatilis*, фосфатмобилизующий штамм *Pseudomonas putida*, арбускулярно-микоризные грибы (АМГ) рода *Glomus* и продукты их метаболизма) в концентрации 20 мл/л, «МАКРОФИТУМ, ВС» (бактерии *Bacillus amyloliquefaciens* с ауксинами и цитокининами) в концентрации 4 мл/л.

Определение содержания пролина проводили по методу Bates с соавт. [16], извлечение фотосинтетических пигментов осуществляли 96 %-ным этиловым спиртом по Lichtenthaler [17]. Содержание фенольных соединений определяли согласно методу [18], который основан на реакции фенолов с реактивом Фолина-Чокальтеу. Оценку общей активности растворимой пероксидазы проводили по Бояркину [19], используя в качестве

хромогенного субстрата бензидин. Изоферментный спектр пероксидазы определяли согласно методу [20]. Статистическую обработку данных осуществляли общепринятыми методами, на диаграммах представлены средние значения с отклонениями, указывающими величину стандартной ошибки средней арифметической [21].

Результаты исследования и их обсуждение. Наиболее существенными показателями изменения роста и развития растений картофеля являются линейные размеры побегов и накопление биомассы. При выращивании растений в вариантах от 100 % до 70 % влажности от ПВ отсутствовали значимые изменения по высоте и по биомассе побегов растений. При снижении содержания воды до 60–40% от ПВ наблюдалось ингибирование роста, сопровождающееся уменьшением длины побегов на 9,9 %, 18,2 % и 34,1 %, а также их биомассы на 18,9 %, 18,7 % и 15,2 % соответственно (рис. 1).

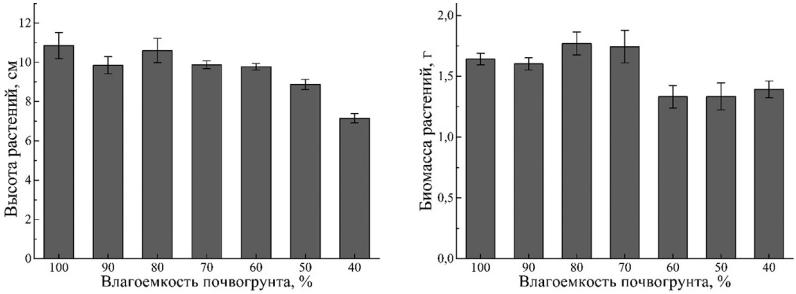


Рис. 1. Морфометрические показатели растений картофеля, выращиваемых на почвогрунтах с различным водообеспечением

Fig. 1. Morphometric parameters of the potato plants grown on peat growing media with different water supply

При выращивании растений в вариантах от 100 % до 70 % от ПВ общая пероксидазная активность не изменялась, однако в пределах до 80 % от полной влагоёмкости наблюдали незначительные изменения изоферментного состава (рис. 2). Увеличение пероксидазной активности начиналось при 60 % влажности почвогрунта от ПВ и существенно возрастало по мере нарастания водного дефицита, а значительная активность основной мажорной изоформы пероксидазы Rf = 0,6 и изменение количества изоферментов происходило уже при 70 % от ПВ. Согласно полученным данным, наибольшее увеличение активности пероксидазы отмечено в условиях дефицита влаги (40% от ПВ) – в 9,2 раза по сравнению с вариантом полной влагоёмкости почвогрунта. В этих условиях наблюдается интенсивное накопление изоформ: RF = 0.86; 0.8; 0.75; 0.72; 0.68; 0.64; 0.6; 0.5. Установлено, что оптимальными условиями для выращивания растений картофеля являются варианты с 80 %–90 % влажности от ПВ.

Максимальный изоферментный спектр и общая активность пероксидазы наблюдались при 40 % влажности почвогрунта от ПВ. Возрастание активности пероксидазы как фермента антиоксидантной защиты при действии засухи согласуется с результатами других авторов [22, 23].

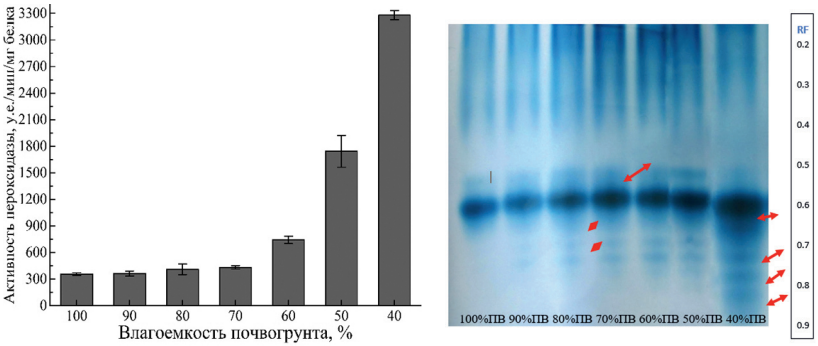


Рис. 2. Активность и изоферментный спектр пероксидаз листьев растений картофеля (стрелка указывает изоферменты пероксидазы), выращиваемых на почвогрунтах с различным водообеспечением

Fig. 2. Peroxidase activity and isozyme spectrum (arrows point peroxidase isozymes) in the leaves of the potato plants grown on peat growing media with different water supply

Во всех исследуемых вариантах опыта наблюдалось снижение накопления фотосинтетических пигментов по отношению к варианту100 % влажности почвогрунта ПВ (рис. 3). В условиях дефицита влаги наблюдается накопление хлорофиллов по сравнению с вариантом 70 % от ПВ, что может быть адаптивной реакцией для поддержания процесса фотосинтеза в течение стресса и обусловлено закрытием устьиц.

Фенольные соединения, благодаря антистрессовым функциям, оказывают влияние на засухоустойчивость растений, повышая их неспецифический иммунитет [24]. При выращивании растений картофеля в диапазоне от полной влагоёмкости до 70 % от ПВ не отмечали достоверно значимых отличий по содержанию фенольных соединений (рис. 3). В условиях снижения влажности почвогрунта до 60–40 % наблюдали значительное увеличение содержания фенольных соединений, максимальное их количество зарегистрировано при 40 % влажности, на 33 % больше чем в варианте с полной влагоёмкостью.

Накопление пролина является одной из наиболее быстрых ответных реакций клетки на стрессовое воздействие, его уровень используется и как важный показатель неблагоприятного состояния растений при дефиците влаги [25]. Отмечена прямая зависимость содержания аминокислоты от влажности почвогрунта (рис. 4), при уменьшении содержания воды наблюдается накопление пролина. Максимальный эффект прослеживает-

ся при выращивании картофеля в условиях дефицита влаги (40% от ПВ), где увеличение осмолитика было в 2,4 раза больше по отношению к варианту с полной влагоемкостью, что позволяет поддерживать тургорное давление и метаболические функции у растений при стрессе [26–28].

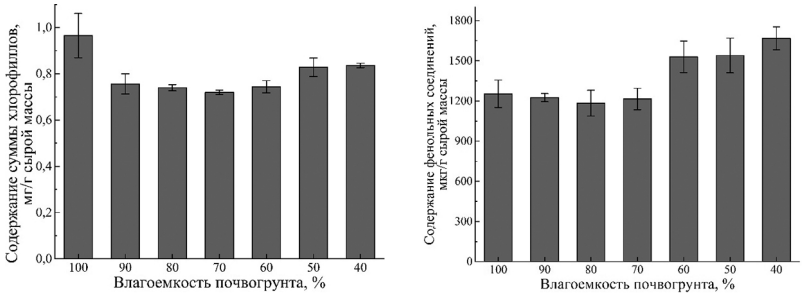


Рис. 3. Содержание фотосинтетических пигментов и фенольных соединений в листьях растений картофеля, выращиваемых на почвогрунтах с различным водообеспечением

Fig. 3. Photosynthetic pigments and phenolic compounds contents in the leaves of the potato plants grown on peat growing media with different water supply

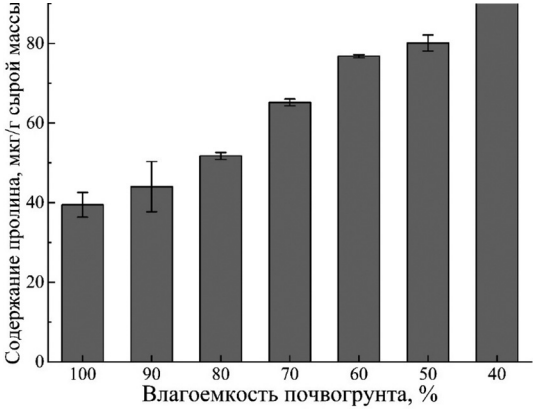


Рис. 4. Содержание пролина в листьях растений картофеля, выращиваемых на почвогрунтах с различным водообеспечением

Fig. 4. Proline content in the leaves of the potato plants grown on peat growing media with different water supply

Обработка растений биопрепаратами «Бактопин» и «Макрофитум», при их выращивании на почвогрунте с выявленной оптимальной влажностью –

80–85 % от ПВ, вызвала увеличение общей пероксидазной активности и способствовала накоплению пролина. При использовании биопрепарата «Карфил» наблюдалась тенденция снижения активности пероксидазы и значительное уменьшение содержания пролина по сравнению с контролем (рис. 5). Водный дефицит (40–45 % от ПВ) привел к увеличению активности пероксидазы на 79,1 % и содержания пролина на 39,4 % в контроле по отношению к значениям у растений, развивающихся в оптимальных условиях. Применение биопрепаратов «Бактопин» и «Макрофитум» вызвало увеличение активности пероксидазы на 20,3 % и 40 % по сравнению с контрольными растениями в условиях водного дефицита. «Бактопин» также способствовал накоплению пролина на 12,2 % по сравнению контрольными растениями, а при обработке биопрепаратом «Макрофитум» содержание пролина было ниже, чем в контрольном варианте в стрессовых условиях. В условиях недостаточного водообеспечения отмечено снижение общей пероксидазной активности и содержания пролина при использовании биопрепарата «Карфил».

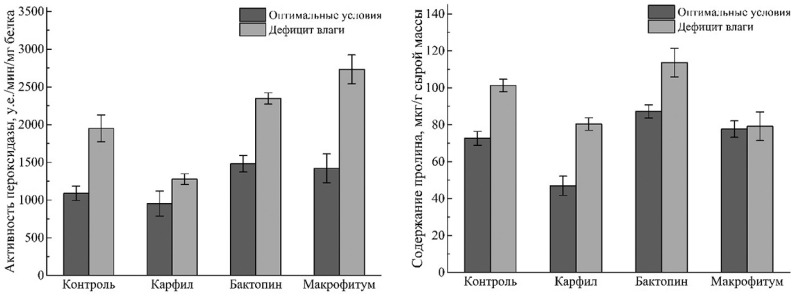


Рис. 5. Общая пероксидазная активность и содержание пролина в листьях картофеля, обработанных биопрепаратами, при выращивании на почвогрунтах с различным водообеспечением

Fig. 5. Total peroxidase activity and proline content in the potato leaves treated with biologicals and grown on peat growing media with different water supply

Увеличение содержания пролина и пероксидазной активности в листьях картофеля при оптимальной влагоемкости и в стрессовых условиях при обработке биопрепаратом «Бактопин» указывает на влияние микроорганизмов в его основе на формирование устойчивости растений к водному дефициту. Предполагается, что ризосферные микроорганизмы способны к регуляции путей биосинтеза пролина у растений, сохраняя его высокий уровень, что приводит к поддержанию водного баланса, стабилизации мембран и защите белков, снижению повреждений, вызванных окислительным стрессом [9, 29, 30].

Считается, что повышение эффективности работы антиоксидантной системы растений связано с развитием устойчивости растений. Вероят-

но, отмеченной в опыте концентрации пролина, при обработке биопрепаратом «Макрофитум», в сочетании со значительной пероксидазной активностью было достаточно для смягчения стресса, полученного растениями при недостаточном влагообеспечении.

Снижение общей пероксидазной активности и содержания пролина у растений при использовании биопрепарата «Карфил» по сравнению с необработанным контролем может свидетельствовать об отсутствии его положительного влияния на развитие ответных защитных реакций при стрессе, однако имеются данные [29, 30], где показано, что формирование резистентности у растений, инокулированных PGPB, сопровождалось снижением активности антиоксидантных ферментов и содержания пролина. Авторы считают, что в этом случае реализуется иная стратегия адаптации растений к преодолению стресса, вызванного водным дефицитом.

Для более четкого понимания закономерностей формирования устойчивости растений картофеля, обработанных исследуемыми биопрепаратами, при водном дефиците, авторы проводят дополнительные исследования.

Заключение. Установлено, что в лабораторных условиях закрытого грунта эффективный рост и развитие растений картофеля наблюдается в диапазоне от 100 % до 70 % влажности почвогрунта на основе торфа. Однако с уменьшением влажности почвогрунта до 60% от ПВ отмечается формирование стрессового состояния у растений, сопровождающееся торможением их роста и снижением биомассы, повышением активности пероксидазы и расширением спектра ее изоформ, увеличением содержания фенольных соединений. Наблюдается прямая зависимость роста содержания пролина с увеличением степени обезвоживания почвогрунта. Содержание фотосинтетических пигментов снижается во всех исследуемых вариантах относительно полной влагоёмкости почвогрунта. Для проведения лабораторных опытов, связанных с выращиванием картофеля в закрытом грунте, оптимальная влажность почвогрунта на основе торфа составляет 80–100 % от его полной влагоемкости, а при моделировании условий водного дефицита следует снижать влажность до 40–45 % от ПВ.

Из изученных отечественных биопрепаратов «Бактопин» способствовал формированию устойчивости растений картофеля к водному дефициту, что отражалось в увеличении содержания пролина и пероксидазной активности в листьях. Использование биопрепарата «Макрофитум» вызвало значительное увеличение пероксидазной активности, что может также являться признаком адаптационных процессов у растений. Обработка биопрепаратом «Карфил» сопровождалась снижением активности пероксидазы и содержания пролина в листьях, что может свидетельствовать об отсутствии развития резистентности у растений или о реализации иной стратегии адаптации к стрессу, вызванного водным дефицитом. Исследования эффективности биопрепаратов в условиях абиотического стресса продолжаются.

Литература

1. Петрович, Э. А. Белорусский рынок картофеля: состояние и перспективы / Э. А. Петрович, М. З. Фрейдин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – №3 – С. 244–254.

2. Перспективы метаболомных исследований растений картофеля / Пузанский и [др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – Т.21, №1. – С. 112–123. DOI 10.18699/VJ17.229

3. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков / Б. В. Анисимов [и др.]. – Москва.: Картофелевод, 2009. – 272 с.

4. Пузанский, Р. К. Метаболомика – современный подход при изучении адаптации растений картофеля к биотическому и абиотическому стрессу (обзор) / Р. К. Пузанский, В. В. Емельянов, М. Ф. Шишова // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 1. – С. 15–28.

5. Gill, S. S. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in crop Plants / S. S. Gill, N. Tuteja // Plant Physiol. Biochem. – 2010. – V. 48.– P. 909–930. DOI: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016

6. Sharma, S. S. The Significance of Amino Acids and Amino Acid-Derived Molecules in Plant Responses and Adaptation to Heavy Metal Stress / S. S. Sharma, K. J. Dietz // J.Exp. Bot. –2006. – V. 57, № 4. – P. 711−726. DOI: 10.1093/jxb/erj073

7. Синькевич, М. С. Особенности окислительного стресса у растений картофеля с измененным углеводным метаболизмом / М. С. Синькевич, А. Н. Дерябин, Т. И. Трунова // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – С. 186−192.

8. Максимов, И. В. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам / И. В. Максимов // Физиология растений. – 2015. – Т.62, № 6. – С. 763-775.

9. Batool, T. Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities / T. Batool [et al.] // Scientific Reports. – V. 10. – 2020. – P. 16975. DOI:10.1038/s41598-020-73489-z

10. Effect of biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance in barley/ Wedad A. Kasim [et al.] // Annals of Agricultural Science – 2016. – Vol. 61, V. 2. – P. 217–227.

11. Феоктистова, Н.В. Ризосферные бактерии / Н.В. Феоктистова // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 158, № 2. – С. 207–224.

12. Yang, J. Rhizosphere bacteriahelp plants tolerate abiotic stress / J. Yang, J. W. Kloepper, C. M. Ryu // Trends Plant Sci. – 2009.– V. 14.– P. 1–3.

13. Яруллина, Л. Г. Влияние бактерий Bacillus subtilis и сигнальных молекул на состояние про-/антиоксидантной системы и экспрессию генов защитных белков у растений картофеля при инфицировании возбудителем фитофтороза и недостатке влаги / Л. Г. Яруллина [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2021. – Т.57, № 6. – С. 594–604.

14. Коломиец, Э. Н. Экологически безопасные биотехнологии для сельского хозяйства / Э. Коломиец, Н. Сверчкова, М. Мандрик-Литвинкович // Наука и инновации. – 2019. – Т. 193, № 3. – С. 4–9.

15. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум / Калинингр. ун-т; Авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград, 2000. – 59 с.

16. Bates, L. S. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies / L. S. Bates, R. P. Waldren, J. D. Teare // Plant and Soil. – 1973. – V. 39, № 1. – P. 205–207.

17. Lichtenthaler, K. Determination of Total Carotenoids and Chlorophylls A and B of Leaf Extracts in Different Solvents / K. Lichtenthaler, A. R. Welburn // Biochemical Society Transactions. – 1983. – V. 11. – P. – 591–592.

18. Singleton, V. L. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagent / V.L. Singleton, J.A. Rossi // Am. J. Enol. Viticult. – 1965. – V.16. – P.144–158.

19. Ермаков, А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков [и др.]. Л.: Агропромиздат. – 1987. – С. 41–43.

20. Graskova, I. A. Peroxidase as a signal system component of potato cells under ring rot pathogenesis / I. A. Graskova [et al.] // FJB. – 2003. – V. 270. – № 1. – P. 134.

21. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск: Высш. шк., 1973. –320 с.

22. Леи, Я. Физиологические ответы *Populus przewalskii* на окислительный стресс, вызванный засухой / Я. Леи // Физиология растений. – 2008. – Т. 55, № 6. – С. 945–953.

23. Николаева, М. К. Влияние засухи на содержание хлорофилла и активность ферментов антиоксидантной системы в листьях трех сортов пшеницы, различающихся по продуктивности / М. К. Николаева [и др.] // Физиология растений. – 2010. – Т. 57. – С. 94–102.

24. Прусакова, Л. Д. Роль фенольных соединений в растениях / Л. Д. Прусакова [и др.] // Агрохимия. – 2008. – № 7. – С. 86-96.

25. Медведев, С. С. Физиология растений: учебник / С. С. Медведев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – С. 415–419.

26. Saneoka, H. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in Agrostis palustris Huds / H. Saneoka [et al.] // Environmental and Experimental Botany. – 2004. – V.52, № 2. – P. 131–138. DOI:10.1016/j.envexpbot.2004.01.011

27. Banik, P. Effects of drought acclimation on drought stress resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes / P. Banik // Environmental and Experimental Botany. – 2016. – V. 126. – P. 76–89. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2016.01.008

28. Fischer, R. A. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson / R. A. Fischer // Field Crops Research. – 2008. – V. 105, № 1. – P. 15–21. DOI: 10.1016/j.fcr.2007.04.002.

29. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus spp*.: effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress / S. Vardharajula [et al.] // Journal of Plant Interactions.–2011.– V. 6, №1. – P. 1–14. DOI: 10.1080/17429145.2010.535178.

30. Dry-Caribbean *Bacillus spp*. Strains Ameliorate Drought Stress in Maize by a Strain-Specific Antioxidant Response Modulation / A. Moreno-Galván[et al.] // Microorganisms. – 2020. – V. 8, № 6. – P. 823. DOI.10.3390/microorganisms8060823

Поступила в редакцию 19.10.2021 г.

УДК 581.1.03; 504.6:61/69

О. А. ИВАНОВ, В. И. ДОМАШ, О. Л. КАНДЕЛИНСКАЯ,
Е. Р. ГРИЩЕНКО, Т. П. ШАРПИО, С. А. ЗАБРЕЙКО, Е. Г. ТЕРЕЩЕНКО

БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ (НА ПРИМЕРЕ СОЛИГОРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА)

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: protlife1984@gmail.com

Аннотация. Исследовано действие поллютантов ОАО «Беларуськалий» на показатели метаболизма древесных видов растений в лесных фитоценозах, примыкающих к данному предприятию. Выявлены изменения содержания пигментов фотосинтеза и некоторых фенольных соединений, антиоксидантной активности, активности системы протеолиза и гликопротеинов семейства лектинов в условиях техногенной нагрузки различной интенсивности.Установлены количественные изменения электрофоретического спектра вегетативных белков осины обыкновенной, отражающие интенсивность техногенных воздействий.

Ключевые слова: поллютанты, флавоноиды, антоцианы, антиоксидантная активность, система протеолиза, гликопротеины семейства лектинов.

O. A. IVANOV, V. I. DOMASH, O. L. KANDELINSKAYA,
E. R. GRISHCHENKO, T. P. SHARPIO, S. A. ZABREIKO,
E. G. TERESHCHENKO

BIOCHEMICAL MECHANISMS OF FOREST PLANTS ADAPTATION TO TECHNOGENIC CONTAMINATION OF THE SOLIGORSK MINING INDUSTRIAL COMPLEX

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, protlife1984@gmail.com

Annotation. The effect of Joint Stock Company “Belaruskali” pollutants on the metabolic indicators of woody plant species in forest phytocenoses adjacent to this enterprise was investigated. We identified the changes in the content of photosynthetic pigments and some phenolic compounds as well as antioxidant activity, the activity of the proteolysis system and glycoproteins of the lectin family under conditions of technogenic load of varying intensity. Quantitative changes in the electrophoretic spectrum of vegetative proteins in P. tremula branches reflecting the intensity of technogenic impacts have been revealed.

Keywords: pollutants, flavonoids, anthocyanins, antioxidant activity, proteolysis system, glycoproteins of the lectin family

Введение. ОАО «Беларуськалий» является одним из крупнейших промышленных предприятий на территории Республики Беларусь. Основное направление деятельности предприятия – добыча и переработка руды для последующего получения хлористого калия, что сопряжено с образованием твердых, жидких и газообразных отходов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду [1]. Существенное влияние на экологическую обстановку в данном регионе оказывают также

пылегазовые выбросы обогатительных фабрик и ТЭЦ, расположенные на каждом рудоуправлении [2]. На территории ОАО «Беларуськалий» и вокруг него расположены объекты и коммуникации (широкая сеть железнодорожных и автомобильных дорог, завод железобетонных изделий, литейно-механический завод), которые также являются источниками химического загрязнения, в том числе, эмиссии тяжелых металлов [3].

Выбросы оксидов азота, серы и углерода и других поллютантов обладают токсическим действием на экосистемы, находящиеся не только в непосредственной близости от предприятия, но и за его пределами. Так, установлено, что вследствие особенностей ветромассопереноса лесные экосистемы Старобинского лесхоза, удаленные от промышленного комплекса, испытывают повышенную техногенную нагрузку [4–7].

Вместе с тем, лесные экосистемы являются одним из важнейших факторов стабилизации всех компонентов природных комплексов. Ухудшение состояния лесных насаждений в результате техногенных воздействий приводит к нарушению экологического равновесия в регионе.

Важно отметить, что неблагоприятные условия среды индуцируют у представителей флоры каскад ответных биохимических реакций задолго до появления фенотипических изменений, что может оказаться весьма ценным для разработки методов ранней оценки экологического состояния лесных экосистем с целью своевременного проведения природоохранных мероприятий. Однако различные аспекты биохимической адаптации фитоценозов, прилегающих к ОАО «Беларуськалий», остаются недостаточно исследованными.

В связи с вышеизложенным, целью работы являлось изучение механизмов адаптации ряда древесных растений к неблагоприятным воздействиям Солигорского горно-промышленного комплекса по показателям содержания хлорофилла и флавоноидов, активности протеиназно-ингибиторной системы и гликопротеинов семейства лектинов в листьях, а также компонентного состава вегетативных запасных белков ветвей. Кроме того, оценивалось содержание тяжелых металлов в почве, листьях осины обыкновенной (*Populus tremula*) L. и в талломах эпифитного лишайника (*Hypogymnia physodes* (L) Nyl.).

Материалы (объекты) и методы исследований. Исследование метаболического статуса древесных растений в условиях техногенной нагрузки проводили на территории ГЛХУ «Старобинский лесхоз», леса которого с южной, юго-восточной и юго-западной сторон непосредственно примыкают к ОАО «Беларуськалий». Экспериментальные площадки закладывались в пунктах постоянного учета (ППУ), созданных ранее сотрудниками лаборатории геоботаники Института экспериментальной ботаники НАН Беларуси. Основанием для выбора ППУ являлись материалы экологического зонирования территории и созданной на их основе интегральной экологической карты [7]. Таким образом, для экспериментальных площадок были выбраны ППУ 164, ППУ 94, ППУ 91 и ППУ 92, соответствующие зонам с умеренным, повышенным, высоким и очень высоким содержанием поллютантов.

Древесные растения, включенные в анализ, отбирались на основании установленной ранее степени их способности аккумулировать тяжелые металлы, и степени чувствительности к ним [7]. На основании данного критерия для исследований были отобраны следующие виды: слабо аккумулирующий/толерантный – береза повислая (*Betula pendula* L.), умеренно аккумулирующий/ высокочувствительный – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), сильно аккумулирующий/толерантный – осина обыкновенная (*Populus tremula* L.).

Для определения содержания тяжелых металлов в пределах экспериментальных площадок отбирали образцы: 1) верхних 10 см почвы непосредственно под подстилкой, составленные из смеси трех почвенных проб, взятых на расстоянии 20 м друг от друга; 2) талломов эпифитного лишайника (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) семейства Parmeliaceae, произрастающих на стволах и ветвях сосны на высоте 1 м; 3) листьев осины обыкновенной.

Исследование физиолого-биохимических показателей растений осуществляли в период максимальной физиологической активности и в период подготовки к зимнему покою. Для этого на каждой экспериментальной площадке отмечали не менее 10 деревьев 5–7-летнего возраста, расстояние между которыми составляло около 3 м, и отбирали по 20 листьев и срезов двухлетних ветвей на высоте 1,5–1,7 м от поверхности почвы. Отобранные образцы растительного материала непосредственно после сбора помещали на лед и далее хранили при температуре –20 °С.

Определение содержания свинца и тяжелых металлов в образцах почвы и в листьях осины обыкновенной выполняли по методу [8]. Определение содержания тяжелых металлов в лишайниках проводили на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICP ELAN DRC Perkin Elmer (США) в соответствии с рекомендациями производителя. Результаты выражали в мг/кг.

Определение содержания хлорофилла, флавоноидов и антоцианов в листьях проводили при помощи портативного анализатора листьев Force-A Dualex (Франция). Для каждого вида растений с каждой ППУ измерения проводили в 30-кратной повторности. Результаты выражали в мг/см^2 площади листьев.

Антиоксидантную активность определяли по методу Beauchamp, Fedorovich [9]. Результаты выражали в %.

Определение концентрации белка проводили по методу Bradford [10].

Активность щелочных протеаз определяли по методу Erlanger et al. [11]. Результаты выражали в единицах активности (ЕА) / г абс.сух.массы.

Активность ингибиторов трипсина определяли по методу Гофмана и Вайсблая [12]. Результаты выражали в единицах ингибиторной активности (ИА) / г абсолютно сухой массы.

Активность лектинов определяли по методу Бабоша [13]. Подготовку экстрактов осуществляли посредством гомогенизации растительного сырья в 0,9 % растворе NaCl в соотношении 1:6. Гомогенат перемешивали в течение суток, осадок отделяли фильтрованием через капроновую

ткань и центрифугированием в течение 15 мин при 5000 об/мин. Гемагглютинирующую активность лектинов выражали в величинах, обратных минимальной концентрации белка, при которой отмечали реакцию гемагглютинации (мкг белка/мл^{1}). Активность лектинов в растительном материале выражали в ЕД/мг белка.

Электрофоретическое профилирование белкового комплекса ветвей проводили в диссоциирующих условиях с додецилсульфатом натрия по методу Laemmli [14]. Окраску электрофоретических гелей осуществляли 0,125 % Coomassie brilliant blue R-250. Для оценки молекулярных масс полипептидов использовали белковые маркеры с диапазоном молекулярных масс 6,5–212 кДа (ApplyChem, США). Анализ электрофореграмм осуществляли при помощи программного обеспечения Totallab CLIQS 1.4.

Статистическую обработку данных проводили по методам вариационной статистики [15] и с применением пакета программ статистического анализа Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение.

Нами исследовано содержание подвижных форм свинца в верхнем почвенном слое ППУ, различающихся уровнем техногенных загрязнений. Параллельно проводилась оценка содержания свинца в листьях осины обыкновенной и элементного состава талломов лишайника *Hypogymnia physodes* (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Содержание подвижного свинца в почве и содержание свинца в листьях осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) на ППУ с различными уровнями техногенного загрязнения (территория ГЛХУ «Старобинский лесхоз»)

Table 1. The content of mobile lead in the soil and the content of lead in *Populus tremula* leaves in Permanent Registration Point (PRP) with different intensity of technogenic pollution (territory of the State Forestry Institution "Starobinsky forestry")

Наименование ППУ	Содержание подвижных форм Pb в почве, мг/кг	Содержание Pb в листьях *Populus tremula*, мг/кг
Умеренное содержание поллютантов (ППУ 164)	8,15	1,96
Повышенное содержание поллютантов (ППУ 94)	5,90	2,04
Высокое содержание поллютантов (ППУ 91)	10,66	2,80
Очень высокое содержание поллютантов (ППУ 92)	4,06	3,49

Таблица 2. Содержание элементов (мг/кг) в талломах лишайника (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) на ППУ с различными уровнями техногенного загрязнения (территория ГЛХУ «Старобинский лесхоз»)

Table 2. The content of elements (mg / kg) in the thalli of the lichen (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) in PRP with different intensity of technogenic pollution (territory of the State Forestry Institution "Starobinsky Forestry")

Элемент	Fe	Zn	Cd	Pb	Cr	Co	Mn	Cu	Ni	Mo	Mg	Na
ППУ91 03.2020	152,7	20,45	<ПОМ	0,307	<ПОМ	0,001	50,02	1,919	0,001	<ПОМ	31,13	130,3
ППУ91 10.2020	171,5	20,41	<ПОМ	0,318	<ПОМ	0,002	55,03	2,007	0,001	<ПОМ	34,34	141,1
ППУ92 03.2020	222,8	24,44	<ПОМ	0,277	<ПОМ	0,001	48,22	2,867	<ПОМ	<ПОМ	29,22	129,4
ППУ92 10.2020	300,1	31,01	<ПОМ	0,333	<ПОМ	<ПОМ	50,12	2,442	<ПОМ	<ПОМ	33,18	141,6
ППУ94 10.2020	231,7	29,17	<ПОМ	0,258	<ПОМ	0,001	61,07	3,011	0,001	<ПОМ	40,02	170,7
ППУ164 10.2020	255,5	22,08	<ПОМ	0,418	<ПОМ	0,001	53,88	2,177	0,001	<ПОМ	38,88	155,2

Примечание: ПОМ – предел обнаружения метода (0,1 мг/кг).
Note: DL – detection limit of the method (0.1 mg / kg).

В соответствии с данными таблицы 1, содержание подвижных форм свинца в почвах различных ППУ не коррелировало с их расположением в ранее установленных зонах с различной интенсивностью техногенного загрязнения. При этом исследуемый показатель в верхних 10-см слоях почвы на всех обследованных ППУ варьировал от 4,06 до 10,66 мг/кг, что ниже принятой ориентировочно допустимой концентрации для этого элемента (15 мг/кг). Наблюдаемый феномен может быть обусловлен тем, что в почве катионы металла способны связываться с образованием малорастворимых соединений и прочно удерживаться почвенными коллоидами.

Возможно, благодаря этому Pb относится к малоподвижным элементам, утрачивая свою биологическую доступность [16, 17]. Об этом свидетельствуют и наши данные по содержанию свинца в листьях осины обыкновенной. Согласно представленным результатам, содержание свинца в листьях осины было ниже, чем в почвах, что объясняется способностью данного поллютанта накапливаться в корнях растений. Действующая в растениях система инактивации свинца также способствует ограничению его поступления в листья [18].

Широко известно, что лишайники, благодаря уникальной способности аккумулировать в талломах различные элементы из окружающей среды, широко используются при экологическом мониторинге в качестве биоиндикаторов. Высокая аккумулятивная способность лишайников является следствием их медленного роста и морфофизиологических особенностей талломов (сильная рассеченность и, соответственно, большая площадь поверхности, контактирующая с загрязнителями; отсутствие защитных покровов и органов водо- и газообмена; низкая способность к авторегуляции и относительно низкая скорость метаболических процессов) [19].

Согласно данным, представленным в таблице 2, содержание токсических металлов в талломах *Hypogymnia physodes* не отражало уровни техногенного загрязнения обследованных ППУ. Мы предполагаем, что лишайник *H. physodes* при высоких уровнях техногенной нагрузки способен ограничивать поступление поллютантов в ткани талломов благодаря специфическим механизмам аккумуляции металлов, например, посредством улавливания на поверхности талломов твердых частиц, которые со временем могут элиминироваться осадками или вовлекаться в процессы ионного обмена [20, 21]. В пользу указанного предположения свидетельствуют данные о том, что при высоких концентрациях свинца в субстрате уровень его аккумуляции талломами у таких видов лишайников как *Candelariella aurella*, *Lecanora muralis*, *Lecidea fuscoatra* и *Stereocaulon nanodes* снижался [22].

Состояние фотосинтетического аппарата играет ключевую роль в жизни растения как в нормальных, так и в стрессовых условиях произрастания. Ранее показано, что тяжелые металлы оказывают в целом угнетающее действие на фотосинтез. Вместе с тем, растения характеризуются видоспецифической ответной реакцией на действие поллютантов [18]. Нами показано, что в пределах обозначенных ППУ только у осины обыкновенной, произрастающей в зоне с наиболее высоким уровнем загрязнения

(ППУ 92), наблюдалось достоверное снижение содержания хлорофилла в листьях (рис.1).

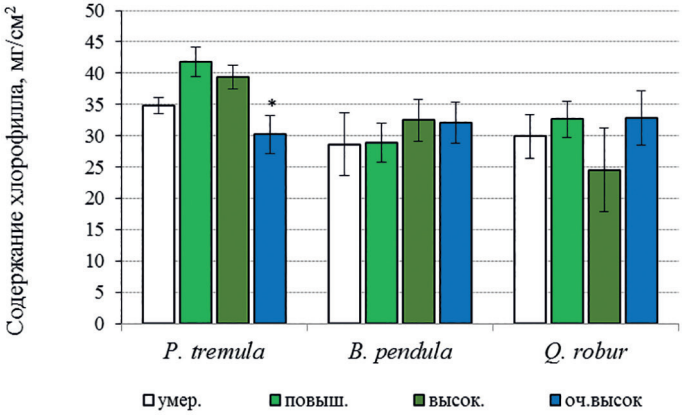


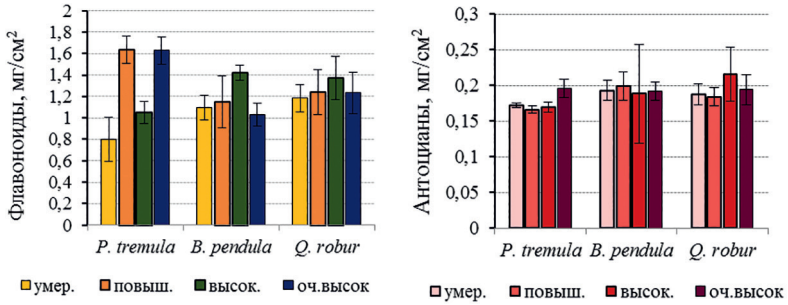
Рис. 1. Содержание хлорофилла в листьях *Populus tremula*, *Betula pendula* и *Quercus robur* на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения
Примечание: * – различия достоверны при $P \leq 0{,}05$ по сравнению с повышенным уровнем загрязнения поллютантами.

Fig. 1. The content of chlorophyll in the leaves of aspen (*P. tremula*), birch (*B. pendula*) and oak (*Q. robur*) in areas with different levels of technogenic pollution
Note: * – the differences are significant at $P \leq 0.05$ in comparison with the increased level of contamination with pollutants.

У остальных исследованных видов деревьев флуктуации показателя содержания хлорофилла в листьях растений, произрастающих на разных ППУ не имели четкой зависимости от интенсивности загрязнения.

Известно, что фенольные соединения играют важнейшую роль в механизмах адаптации растений к неблагоприятным воздействиям, поскольку участвуют в регуляции активности ферментов, стабилизации клеточных мембран и окислительно-восстановительных процессов [23]. Мы исследовали влияние техногенных загрязнений ПО «Беларуськалий» на содержание флавоноидов и антоцианов в листьях осины в условиях интенсивного техногенного загрязнения (рис. 2, А, Б)

В соответствии с данными на рисунке 2, в наибольшей степени на интенсивность загрязнения реагировала осина обыкновенная. Так, если в листьях дуба черешчатого и березы повислой различия в содержании флавоноидов и антоцианов на ППУ с разными уровнями загрязнения были недостоверными, то в листьях осины, произрастающей на ППУ 92 (самой загрязненной территории), исследованные показатели оказались достоверно выше, чем на наименее загрязненном ППУ 164.



A B

Рис. 2. Содержание флавоноидов (А) и антоцианов (В) в листьях осины обыкновенной (*P. tremula*), березы повислой (*B. pendula*) и дуба черешчатого (*Q. robur*) на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения
Примечание: * – различия достоверны при $P \leq 0,05$ по сравнению с ППУ с повышенным уровнем загрязнения поллютантами.

Fig. 2. The content of flavonoids (A) and anthocyanins (B) in the leaves of common aspen (*P. tremula*), silver birch (*B. pendula*) and pedunculate oak (*O. robur*) in areas with different levels of technogenic pollution
Note: * – the differences are significant at $P \leq 0,05$ in comparison with the PRP with increased level of contamination.

Нами показано, что у исследованных видов отмечалось видоспецифическое изменение антиоксидантной активности на территориях с различной интенсивностью техногенного загрязнения, обусловленное, по-видимому, стратегиями адаптации к действию поллютантов (рис. 3). Так, у березы повислой отмечено достоверное снижение антиоксидантной активности в листьях растений, произрастающих на наиболее загрязненной территории (ППУ 92), по сравнению с растениями, произрастающими на ППУ 164 с наименьшей интенсивностью загрязнения.

В целом, для исследованных видов отмечалась видоспецифическая реакция изменения антиоксидантной активности на территориях с различной интенсивностью техногенного загрязнения, обусловленная, по-видимому, стратегиями адаптации к действию поллютантов.

Наши исследования позволили также установить, что у исследованных видов деревьев, произрастающих на загрязненных территориях, наблюдались значительные изменения метаболизма регуляторных белков – гликопротеинов семейства лектинов (табл. 3).

При этом за период исследований 2019–2020 гг. были отмечены две стратегии адаптации растений по показателю активности эндогенных лектинов: 1) отсутствие существенных изменений (дуб черешчатый); 2) активация лектинов различной степени (осина, береза). Так, если за период июль-октябрь 2019 г. на фоновых территориях (ППУ 164) у дуба не

наблюдалось существенных изменений исследуемого показателя, то под влиянием поллютантов (ППУ 92), напротив, имела место активация лектинов почти в 30 раз. При этом на I этапе наблюдений (июль 2019 г.) отмечены лишь незначительные флуктуации активности лектинов, тогда как ко II этапу (октябрь 2019 г.) установлены хорошо выраженные (более, чем в 25–30 раз) «всплески» активности указанных белков. У березы и осины с июля по октябрь на фоновых территориях наблюдалось повышение активности лектинов в 5,9 и в 122 раза, соответственно. В то же время на загрязненных территориях у березы отмечена более низкая активации лектинов (только в 2,5 раза), а у осины, наоборот, показатели активации оставались повышенными (в 190 раз).

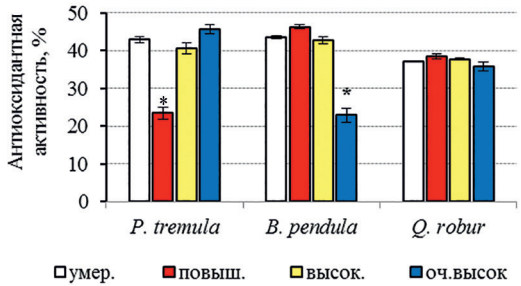


Рис. 3. Антиоксидантная активность в листьях осины (*P. tremula*), березы (*B. pendula*) и дуба (*Q. robur*) на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения
Примечание: * – различия достоверны при $P \leq 0,05$ по сравнению с другими загрязненными территориями
Fig. 3. Antioxidant activity in the leaves of aspen (*P. tremula*), birch (*B. pendula*) and oak (*Q. robur*) in areas with different levels of technogenic pollution
Note: * – differences are significant at $P \leq 0,05$ in comparison with other contaminated areas.

Таблица 3. Влияние техногенных загрязнений ПО «Беларуськалий» на активность лектинов в листьях *P. tremula* на территории ГЛХУ «Старобинский лесхоз»

Table 3. Influence of technogenic pollution of Joint Stock Company (JSC) "Belaruskali" on the activity of lectins in the leaves of *P. tremula* on the territory of the State Forestry Institution "Starobinsky Forestry"

Вариант эксперимента	Активность лектинов, ЕД/мг белка	Коэффициент корреляции, r
ППУ 164	355±50	0,79
ППУ 94	1661±70	
ППУ 91	1150±60	
ППУ 92	2849±53	

На примере осины показано, что в листьях деревьев, произрастающих на ППУ 92 с высоким уровнем техногенных загрязнений, наблюдалась значительная активация лектинов (в 8 раз) по сравнению с таковыми из ППУ 164 (умеренное загрязнение).

При этом коэффициент корреляции составлял 0,79, указывая на тесную корреляционную связь между показателем активности эндогенных лектинов в листьях осины и уровнем техногенных загрязнений в пределах обозначенных ППУ.

Установлена высокая биохимическая изменчивость качественного и количественного состава компонентов протеиназно-ингибиторной системы под влиянием абиотических стрессоров, поскольку адаптационная пластичность этой системы позволяет тонко регулировать обменные процессы в клетках и тканях растений [24, 25]. Кроме того, ингибиторы протеолитических ферментов сами по себе являются полифункциональными белками, не только регулирующими активность протеаз, но и выполняющими другие независимые функции, являясь стресс-индуцируемыми протекторными белками, а также запасными белками [24].

Так, согласно результатам, полученным в 2019 г., в зоне наибольшего загрязнения (ППУ 92) по сравнению с зоной умеренного загрязнения (ППУ 164) у двух исследованных древесных растений – осины обыкновенной и дуба черешчатого на фоне активации ингибиторов трипсина отмечалось достоверное снижение активности щелочных протеаз в листьях (рис. 4).

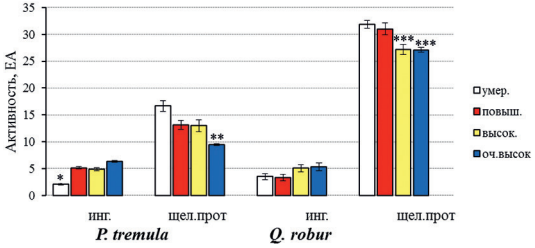


Рис. 4. Активность щелочных протеаз (щел. прот.) и ингибиторов сериновых протеиназ (инг.) в листьях осины (*P. tremula*) и дуба (*Q. robur*) на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения

Примечания: * – различия достоверны при $P \leq 0,05$ по сравнению с более загрязненными территориями; ** – различия достоверны при $P \leq 0,05$ по сравнению с умеренным загрязнением поллютантами ; *** – различия достоверны при $P \leq 0,05$ по сравнению с умеренным загрязнением поллютантами.

Fig. 4. Activity of alkaline proteases (alk. prot.) and inhibitors of serine proteinases (ing.) in aspen (*P. tremula*) and oak (*Q. robur*) leaves in areas with different levels of technogenic pollution

Notes: * – differences are significant at $P \leq 0,05$ in comparison with more contaminated areas; ** – the differences are reliable at $P \leq 0,05$ compared with moderate pollution with pollutants; *** – differences are significant at $P \leq 0,05$ in comparison with moderate pollution with pollutants.

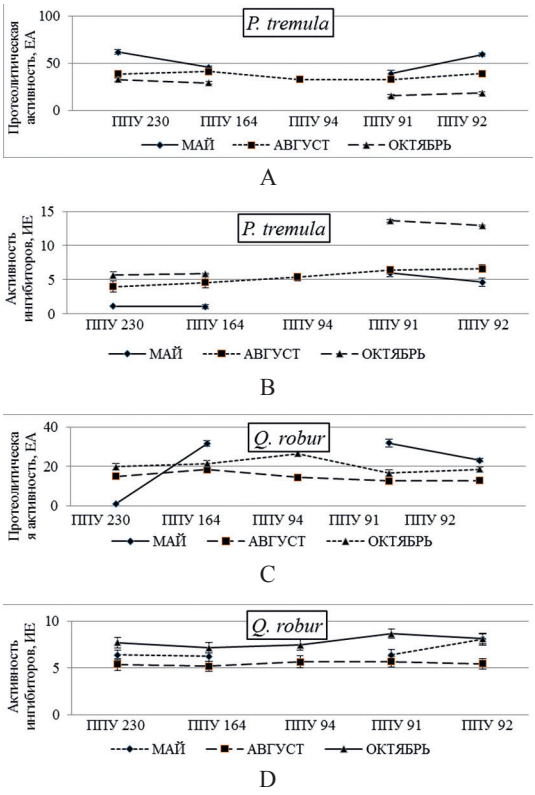


Рис. 5. Активность щелочных протеаз (A, C) и ингибиторов сериновых протеиназ (B, D) в листьях осины обыкновенной (*P. tremula*) и дуба черешчатого (*Q. robur*) в различные фазы вегетации в 2020 году на территориях с низким (ППУ 230), умеренным (ППУ 164), повышенным (ППУ 94), высоким (ППУ 91) и очень высоким (ППУ 92) уровнями техногенного загрязнения

Fig. 5. Activity of alkaline proteases (A, C) and serine proteinase inhibitors (B, D) in the leaves of common aspen (*P. tremula*) and oak (*Q. robur*), respectively, in different phases of vegetation in 2020 in areas with low (PRP 230), moderate (PRP 164), increased (PRP 94), high (PRP 91) and very high (PRP 92) levels of technogenic pollution

Анализ активности щелочных протеаз и ингибиторов сериновых протеиназ в процессе вегетации в 2020 г. позволил установить следующее (рис. 5, A–D). В начале и в конце вегетационного периода (в мае и октябре соответственно) протеолитическая активность в листьях этих видов

может не различаться на крайних, по степени загрязненности поллютантами, ППУ либо сезонно флуктуировать у растений, произрастающих на различных территориях, что обусловлено, по-видимому, множеством внешних факторов и физиологическим состоянием конкретных деревьев без прямой привязки к интенсивности техногенного воздействия.

Согласно представленным данным, активность ингибиторов сериновых протеиназ как стресс-индуцируемых белков возрастала в листьях толерантной к техногенному загрязнению осины обыкновенной по мере интенсификации техногенного загрязнения.

Особенно заметные изменения имели место в конце вегетации в 2020 году (октябрь) (рис. 5 B), что могло быть обусловлено не только высокой техногенной нагрузкой, но и влиянием биотического фактора: листья практически всех деревьев были массово поражены насекомыми-фитофагами. Для дуба черешчатого, который является высокочувствительным к поллютантам, на протяжении 2020 года были отмечены лишь сезонные флуктуации активности ингибиторов, не зависящие от интенсивности техногенного загрязнения (рис. 5 D). Нами отмечено также, что в осенних листьях осины обыкновенной имела место более высокая активность щелочных протеаз по сравнению с таковой листьев летнего сбора, что указывает на активацию катаболических процессов в тканях и может свидетельствовать о перераспределении азота в организме растения. Представляется вероятным, что в условиях техногенной нагрузки различной интенсивности актуализируется значимость аттракции азота в вегетирующие ткани стеблей и его запасание в виде вегетативных запасных белков в коре ветвей 1-го и 2-го года.

Известно, что вегетативные запасные белки (vegetative storage proteins, VSPs), в отличие от запасных белков семян, накапливаются в вегетативных тканях листьев и стеблей запасающих тканей растения, распределенных в коре ветвей, а так же корневой системы, когда доступны избыточные ресурсы, и служат временным резервуаром аминокислот для использования в последующих фазах роста и развития. При недостатке питательных веществ биосинтез таких белков ограничен [26–28].

У некоторых растений VSPs по структуре сходны с запасными белками семян, но в других растениях заметно от них отличаются [26]. По компонентному составу VSPs также варьируют, и могут быть представлены подобно таковым картофеля и включать ингибиторы протеиназ, либо фасоли, содержащей, помимо глобулинов, также лектины [27, 28].

Мы предполагаем, что при повышении уровня техногенных загрязнений ППУ наблюдаемая активация ингбиторов протеиназ в ветвях исследуемых деревьев связана с метаболизмом вегетативных запасных белков. Не исключено, что в их составе могут быть обнаружены белки ингибиторы протеиназ [29]. В пользу данного предположения свидетельствуют наши данные об активации в этот период ингибиторов сериновых протеиназ в ветвях 1-го года у осины обыкновенной (*P. tremula*) и березы

повислой (*B. pendula*) на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения, и количественными изменениями полипептидного профиля VSPs на примере *P. tremula* (рис. 6 и 7).

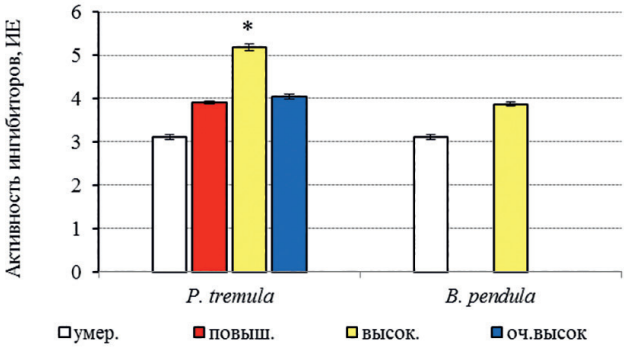


Рис. 6. Активность ингибиторов сериновых протеаз в ветвях 1-го года осины обыкновенной (*P. tremula*) и березы повислой (*B. pendula*) на территориях с различным уровнем техногенного загрязнения
Примечание: * – различия достоверны при $P \leq 0{,}05$ по сравнению с другими территориями.
Fig. 6. Activity of serine protease inhibitors in the branches of the 1st year of common aspen (*P. tremula*) and silver birch (*B. pendula*) in areas with different levels of technogenic pollution
Note: * – differences are significant at $P \leq 0{,}05$ in comparison with other territories

Согласно данным электрофоретического профилирования, в составе белкового комплекса коры ветвей 1-го года у осины обыкновенной имела место индукция накопления полипептида с молекулярной массой около 31 кДа, причем содержание последнего увеличивалось пропорционально уровню загрязнения (рис. 7). Количество данного белка в ветвях деревьев, произрастающих на территории ППУ 91 и ППУ 92 (высокий и очень высокий уровни техногенного загрязнения), возрастало на 44 % и 103 %, соответственно, по сравнению с ветвями деревьев, произрастающих на ППУ 164 (умеренный уровень загрязнения).

Не исключено, что обнаруженный белок может являться маркером степени загрязненности территории поллютантами и перспективен для более детального исследования экологической ситуации данного региона.

Для дуба черешчатого отмечены только количественные сезонные изменения полипептидного спектра, отражающие преимущественно сезонный метаболический статус деревьев и не зависящие от интенсивности техногенного воздействия.

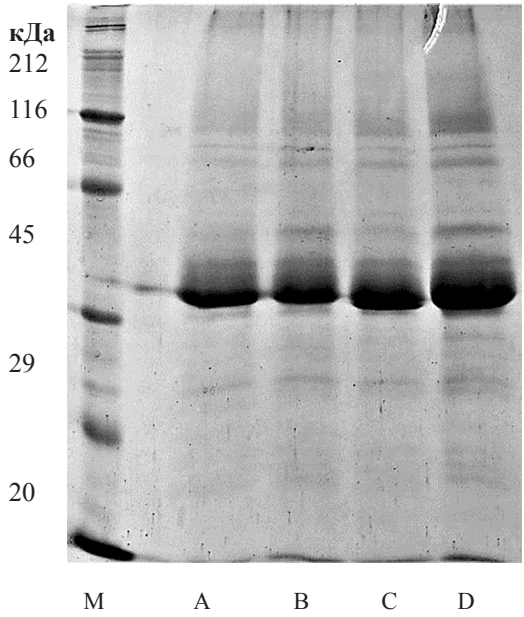


Рис. 7. Компонентный состав белкового комплекса запасных белков 1-годичных ветвей осины (*P. tremula*), произрастающей на территориях с умеренным (A), повышенным (B), высоким (C) и очень высоким (D) уровнями техногенного загрязнения

Fig. 7. Component composition of the protein complex of storage proteins of 1-year branches of aspen (*P. tremula*) growing in areas with moderate (A), increased (B), high (C) and very high (D) levels of technogenic pollution

Заключение. У исследованных древесных растений, произрастающих на территории ОАО «Беларуськалий», установлены значительные изменения метаболического статуса, амплитуда которых определяется совокупностью интегральных механизмов адаптивной стратегии, сформированной в процессе роста и развития указанных видов в данном регионе. Наиболее выраженный характер изменений метаболизма протеиназно-ингибиторой системы, лектинов и вегетативных запасных белков отмечены у осины обыкновенной и березы повислой. У осины обыкновенной выявлен белковый маркер с молекулярной массой около 31 кДа, отражающий степень интенсивности техногенного загрязнения. Для комплексной оценки экологического состояния лесных фитоценозов в указанном регионе перспективными физиолого-биохимическими показателями могут являться содержание хлорофилла, активность эндогенных лектинов и протеиназно-ингибиторной системы в листьях, а также данные электрофоретического профилирования вегетативных запасных белков 1-годичных побегов.

Литература

1. Экологический бюллетень за 2015 год. Глава 11. Отходы // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2017.

2. Москальчук, Л. Н. Промышленные отходы и выбросы ОАО «Беларуськалий»: Источники загрязнения и деградации сельскохозяйственных и лесных экосистем Солигорского и прилегающих районов. / Л. Н. Москальчук, Т. Г. Леонтьев / Материалы научно-практической конференции «Природопользование и экологические риски». – Минск, 5 июня 2019 г. – С. 17–22.

3. Головатый, С. Е. Пространственное распределение химических загрязнителей в почвах территории, прилегающих к предприятиям ПО "Беларуськалий". Сообщение 3. Тяжелые металлы. / С. Е. Головатый, Н. К. Ковалевич Н. К. Лукашенко // Почвоведение и агрохимия. – 2009, № 1. – С. 268–281.

4. Локальный мониторинг окружающей среды за 2006-2016 гг. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь.

5. Мониторинг земель за 2017. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь. – http://www.nsmos.by/content/176.html.

6. Семашко, А. В. Экологические проблемы Солигорского горно-промышленного района / А. В. Семашко. БНТУ // Сб. материалов 72-й студенческой научно-технической конференции, 20–28 апреля 2016 г. – Минск, 2016. – С. 264–267.

7. Проект организации и развития лесного хозяйства Старобинского лесхоз Минского производственного лесохозяйственного объединения на 1998–2007 гг. Том 1. Объяснительная записка. – Гомель, 1998 г. – 429 с.

8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Издание 2-е (переработанное и дополненное). Министерство сельского хозяйства РФ, ЦИНАО. Утв. 10.03.1992 г.; ГОСТ Р 50682-94.

9. Beauchamp, C.O., Fridovich I. Superoxyde dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels // Anal. Biochem. – 1971. – Vol. 44, № 1. – P. 276-287.

10. Bradford, M. M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgramm guantities of protein utilizing the principle of protein dye binding // Anal. Biochem. – 1976. – Vol. 8. – P. 248–254.

11. Erlanger, F. Kokowsky N., Cohen W. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin /F. Erlanger, N. Kokowsky, W. Cohen // Arch. Biochem. Biophys. – 1961. – Vol. 96. – P. 271–278.

12. Гофман, Ю. Я. Определение активности ингибиторов трипсина в семенах гороха / Ю. Я. Гофман, И. М. Вайсблай // Прикл. биохим. и микробиол. – 1975. – Т. 11, вып. 5. – С. 777–787.

13. Бабоша, А. В. Определение фитогемагглютининов в связи с вирусоустойчивостью картофеля / А. В. Бабоша // Физиолого-биохимические и биофизические методы диагностики степени устойчивости растений к патогенам и другим факторам / Под ред. Ладыгиной М. Е. Москва: МГУ. – 1992. – С. 43–52.

14. Laemmli, U. R. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 / U. R. Laemmli // Nature. – 1970. – Vol. 227. – P. 680–685.

15. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – М.: Высш. шк., 1978. – 312 с.

16. Ильин, Б. В. Тяжелые металлы в системе почва – растение / Б. В. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.

17. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

18. Титов, А. Ф. Влияние ионов свинца на рост и морфологические показатели растений ячменя и овса / А. Ф. Титов, Т. Ф. Лайдинен, Н. М. Казнина // Физиология и биология культурных растений. – 2001. – Т. 33, № 1. – С. 33–37.

19. Бязров, Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л. Г. Бязров // М.: Научный мир, 2002. – 336 с.

20. Brown, D. H. The location of mineral elements in lichens; implications for metabolism / D. H. Brown // Bibliotheca Lichenologica. 1987. Vol. 25. – P. 361–375.

21. Nash III T. H. Nutrients, elemental accumulation and mineral cycling // Lichen Biology / T. H. Nash III (ed.). Cambridge: Univ. Press, 1996. – P. 136–153.

22. Rola, K. Different heavy metal accumulation strategies of epilithic lichens colonising artificial post-smelting wastes / K. Rola [et al.] // Arch. Environ. Contam. Toxicol. – 2016. – № 70. – P. 418–428.

23. Макаренко, О. А. Физиологические функции флавоноидов в растениях / О. А. Макаренко, А. П. Левицкий // Физиология и биохимия культ. растений. – 2013. – Т. 45, № 2. – С.100–112.

24. Мосолов, В. В. Ингибиторы протеиназ и их функции у растений / В. В Мосолов, Т. А. Валуева // Прикладная биохимия и микробиология. – 2005. – Т. 41, № 3. – С. 261–282.

25. Дунаевский, Я. Е. Ингибиторы протеиназ как антистрессовые белки / Я. Е. Дунаевский и [др.] // Прикл. биохим. микробиол. – 2005. – Т. 41, № 4. – С. 392–396.

26. Дмитриева, Г. А. Физиология растений в 2 т. Т. 2. 4-е издание / Г. А. Дмитриева. – М.: Юрайт, 2016. – 171 с.

27. Advances in the Biology of Seed and Vegetative Storage Proteins Based on Two-Dimensional Electrophoresis Coupled to Mass Spectrometry / D. Mouzo [et.al.] // Molecules. – 2018. – Vol. 23. – P. 2462.

28. Toru Fujiwara et al. Storage proteins // The Arabidopsis Book, 2002. American Society of Plant Biologists. First published on September 30, 2002, doi:e0020. 10.1199/tab.0020.

29. Vegetative storage protein with trypsin inhibitor activity occurs in *Sapindus mukorassi*, a Sapindaceae deciduous tree / Liu S.-B. [et al.] // J. Int. Plant Biol. – 2009. – Vol. 51. – P. 352–359.

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

УДК 58.03.3:581.174.1: 635.63: 632.4

Л. Ф. КАБАШНИКОВА, Г. Е. САВЧЕНКО, Л. М. АБРАМЧИК,
И. Н. ДОМАНСКАЯ, Л. В. ПАШКЕВИЧ,
Т. С. ПИЛИПОВИЧ, А. В. МАРТЫСЮК

ВЛИЯНИЕ СВЕТА РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ МЕМБРАН И ПАРАМЕТРЫ ОКСЛИТЕЛЬНОГО СТАТУСА РАСТЕНИЙ ОГУРЦА (*CUCUMIS SATIVUS* L.) ПРИ ФУЗАРИОЗНОМ УВЯДАНИИ

Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси,
Минск, Беларусь, e-mail: kabashnikova@mail.ru

Аннотация. Изучено влияние света разной интенсивности на структурно-функциональное состояние фотосинтетических мембран и параметры окислительного статуса растений огурца при фузариозном увядании. Показано, что после заражения грибом *Fusarium oxysporum* sp. количество фотосинтетических пигментов в листьях растений, выращенных при 6000 лк возрастало по сравнению с контролем, что может указывать на активацию системы биосинтеза пигментов, а заражение при более высокой интенсивности света (11000 лк) существенно усиливало катаболические процессы. В защитных реакциях при фузариозе в условиях использованного светового диапазона не был задействован виолаксантиновый цикл, о чем свидетельствует отсутствие зеаксантина во всех режимах освещения. В инфицированных растениях огурца фотохимическая активность фотоситемы 2 (ФС 2) мало зависела от условий освещенности. Количество активных форм кислорода (АФК) увеличивалось при заражении только в листьях растений, выращенных при более высокой интенсивности света (11 000 лк), несмотря на то, что общее их содержание на свету низкой интенсивности (6 000 лк) было в несколько раз выше, чем при более интенсивном освещении. Показано, что активность аскорбатпероксидазы (АПР) как фермента антиоксидантной защиты непосредственно в хлоропластах существенно возрастала в зараженных листьях в условиях пониженной освещенности и практически не изменялась в условиях более интенсивного освещения.

Ключевые слова: свет, хлорофилл, каротиноиды, фотосистема 2, активные формы кислорода, аскорбатпероксидаза, огурец, фузариоз

L. F. KABASHNIKOVA, G. E. SAVCHENKO, L. M. ABRAMCHIK,
I. N. DOMANSKAYA, L. V. PASHKEVICH,
T. S. PILIPOVICH, H. V. MARTYSIUK

IMPACT OF LIGHT OF DIFFERENT INTENSITY ON THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL STATE OF PHOTOSYNTHETIC MEMBRANES AND THE PARAMETERS OF THE OXLITIVE STATUS OF CUCUMBER PLANTS (*CUCUMIS SATIVUS* L.) UNDER FUSARIUM WILT

Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus Minsk, Belarus, e-mail: kabashnikova@mail.ru

Annotation. The effect of light of different intensity on the structural and functional state of photosynthetic membranes and the parameters of the oxidative status of cucumber plants during

fusarium wilt was studied. It was shown that the amount of photosynthetic pigments in the leaves of plants infected with the fungus *Fusarium oxysporum* sp. and grown at 6,000 lux increased compared to the control, which may indicate the activation of the pigment biosynthesis system, and infection at a higher light intensity (11,000 lux) significantly enhanced catabolic processes. The violaxanthin cycle was not involved in the defense reactions in fusarium wilt under the conditions of the used light range, as evidenced by the absence of zeaxanthin in all illumination modes. In infected cucumber plants, the photochemical activity of photosystem 2 (PS 2) depended little on illumination conditions. The amount of reactive oxygen species (ROS) increased upon infection only in the leaves of plants grown at a higher light intensity (11,000 lux), despite the fact that their total content in low-intensity light (6,000 lux) was several times higher than with more intense lighting. It was shown that the activity of ascorbate peroxidase (APR) as an enzyme of antioxidant defense directly in chloroplasts increased significantly in infected leaves under low light and practically did not change under more intense light.

Keywords: light, chlorophyll, carotenoids, photosystem 2, reactive oxygen species, ascorbate peroxidase, cucumber, fusarium wilt

Введение. Выяснение механизмов действия света на формирование защитных реакций в фотосинтезирующих тканях при патологическом процессе является актуальным направлением современных исследований, первостепенный интерес которых направлен на изучение взаимосвязи между восприятием светового сигнала и иммунным ответом растений.

Известно [1], что свет может оказывать влияние на иммунитет растений через множество сигнальных путей, среди которых наиболее важные связаны с изменением общего энергетического и восстановительного статуса клетки как «топлива» для запуска и поддержания защитных реакций против патогенов; генерацией активных форм кислорода (АФК) в хлоропластах и других компартментах и сигнальными фоторецепторными путями, опосредованными системой фитохрома. Интеграция между названными сигнальными каскадами осуществляется сложной и во многом слабо изученной системой регуляции, которая обеспечивает формирование устойчивости растений к стрессовым факторам разной природы.

Влияние света на иммунитет растений при атаке разных типов патогенов (грибов, бактерий, вирусов) изучалось длительное время, но чаще в темноте [2], чем на свету. Известно, что некоторые защитные ответы растений происходят без участия света. Показано также, что растения арабидопсиса, растущие в темноте, более серьезно повреждались при инфицировании бактериальными и вирусными патогенами, чем на свету [3]. Обнаружено, что иммунный ответ растений утром существенно интенсивнее, чем ночью, что объясняет разную устойчивость растений к атаке фитопатогенами в разное время суток. Это можно связать прежде всего с фоторецепторными системами.

Установлено [4] наличие альтернативных сигнальных путей, связывающих свет и иммунитет растений через редокс-статус хлоропластов. Показано, что функционирующие хлоропласты необходимы для реализации гиперчувствительной реакции, вызывающей запрограммированную

гибель клеток (PCD). Одно из направлений этих исследований связано с изучением влияния интенсивности света. Известно, что увеличение интенсивности света ведет к избыточному возбуждению (excess excitation energy, EEE) за счет избыточного количества энергии. необходимого для фотосинтетических реакций [5]. Ответ растений на EEE имеет множество параллелей с иммунным ответом, включая генерацию АФК [6]. Показано также, что растения арабидопсиса, прошедшие акклимацию на свету высокой интенсивности. увеличивали устойчивость к вирулентному штамму бактерий *P. Syringae* DC3000, как в тканях, непосредственно экспонированных на свету, так и в отдаленных от них. Установлено, что ключевым компонентом в акклимации к EEE, является редокс-состояние пластохинонового пула (PQ) в хлоропластах. Так, увеличение его восстановленности приводило к увеличению запрограммированной гибели клеток, продукции H_2O_2 и накоплению этилена в растениях арабидопсиса. Эти обработки вызывали также увеличение устойчивости к инфицированию вирулентным штаммом Pst DC300, напоминая эффект EEE при экспозиции растений на интенсивном свету. Показано, что состояние пластохинонового пула играет ключевую роль в ответе растений на оба стрессовых фактора – высокоинтенсивный свет и атаку патогеном. Несмотря на явный прогресс в этой области исследований, сравнительно мало известно об интеграции светового и патоген-индуцированного сигнальных путей на уровне экспрессии генов.

В настоящее время светозависимое формирование устойчивости растений к фитопатогенам показано на ряде растений [7–9]. Однако только в единичных работах, выполненных в основном на мутантах арабидопсиса, обсуждаются механизмы регуляции активности про- и антиоксидантных систем в инфицированных растениях при изменении светового режима [10, 11].

Целью исследования являлось изучение роли света разной интенсивности умеренного диапазона в реализации иммунного ответа при фузариозном увядании в контролируемых условиях на примере растений огурца, который наблюдали по изменению уровня фотосинтетических пигментов, функциональной активности ФС 2, изменению уровня АФК и состоянию системы антиоксидантной защиты в хлоропластах.

Материалы (объекты) и методы исследования. Эксперименты проводили с зелеными растениями огурца сорта Кустовой белорусской селекции. Растения выращивали в течение 40 суток в климатокамере под натриевыми лампами типа (ЖКУ 28-400-001 ХХЛІ, 220 В, мощность 400 Вт, IP23/IP53) при разной освещенности − 11 000 лк и 6 000 лк, что соответствует 180 мкмоль квантов/м^2 с и 330 мкмоль квантов/м^2, с фотопериодом 14 ч свет/10 ч темнота, при температуре 24 °С в грунте на основе торфа «Универсальный» (фирма Terra Vita). Затем часть растений обрабатывали суспензией спор гриба *Fusarium oxysporum* sp., содержащей 10^{-6} спор /мл (5 мл/1 растение). Анализ проводили через 3 суток после заражения, используя листьях 4-го яруса. Контролем служили растения, обработанные дистиллированной водой.

Хлорофилловые пигменты экстрагировали ацетоном и анализировали спектрофотометрически на спектрофотометре «Shimadzu, UV – 2401PC» (Shimadzu, Япония) [12]. Содержание каротиноидов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием хроматографа «Shimadzu LC20 Prominence» (Япония) и колонки Nucleodur C18 Gravity (размер частиц 3×150 мм) (Macherey Nagel, Германия) [13]. Пигменты регистрировали спектрофотометрическим детектором с диодной матрицей «SPD-M20A Prominence» (Shimadzu, Япония) по спектрам поглощения в диапазоне 200–700 нм.

При оценке фотохимической активности фотосистемы 2 (ФС2) как наиболее чувствительного компонента фотосинтетического аппарата использовали параметры PAM-флуориметрии, зарегистрированные на флуориметре «Dual-PAM 100» (Walz, Германия) [14].

Общий уровень АФК определяли с помощью флуоресцентного теста, в основе которого лежит образование дихлорфлуоресцеина из нефлуоресциирущего дихлорфлуоресцеин-диацетата в экстрактах листьев. Определение АФК проводили, регистрируя флуоресценцию ДХФ ($\lambda_{воз}$ = 496, $\lambda_{рег}$ = 524 нм) с помощью спектрофлуориметра «СОЛАР СМ 2203» (СОЛАР, Беларусь) [15].

Реакцию системы антиоксидантной защиты на заражение оценивали по активности аскорбатпероксидазы (АПР, КФ 1.11.1.11), измерение которой основано на определении скорости разложения перекиси водорода в исследуемом образце с образованием воды и дегидроаскорбата [16]. Оптическую плотность продукта регистрировали при 290 нм на спектрофотометре «Shimadzu, UV – 2401PC» (Shimadzu, Япония), коэффициент экстинкции − 2,8 $мМ^{-1}см^{-1}$. Активность АПР рассчитывали в мкмоль H_2O_2/(мг белка мин), содержание которого в анализируемом материале измеряли методом Лоури [17] с помощью коммерческого реактива Фолина.

Все исследования проводили в 3-кратной биологической повторности. Достоверность различий средних значений определяли по t-критерию Стьюдента с использованием компьютерной программы «Statistica 6.0» (StatSoft) и «Excel 2010». Статистически достоверные различия между показателями при $p \leq 0,05$ отмечены в таблицах и на графиках звездочкой.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 представлено изменение содержания фотосинтетических пигментов, экстрагированных ацетоном из тканей листа огурца при выращивании растений в разных условиях освещения. Видно, что при расчете на единицу сырой массы содержание хлорофиллов и общее количество каротиноидов в тканях здоровых растений не зависело от интенсивности света, использованного в наших экспериментах. После заражения количество пигментов в листьях растений, выращенных при 6000 лк, незначительно возрастало по сравнению с контролем, а в условиях более высокой интенсивности света существенно снижалось. Следует отметить отсутствие изменений в соотношении хлорофилловых (Хл) пигментов (Хл *a*/Хл *b*), а также Хл и каротиноидов (Хл (*a*+*b*)/каротиноиды) в контрольных и зараженных

растениях, что указывает на отсутствие изменений стехиометрии пигмент-белковых комплексов в фотосинтетических мембранах. Можно предположить, что снижение содержания пигментов при заражении растений огурца на свету 11000 лк является результатом разрушения фотосинтетических тканей.

Таблица 1. Влияние интенсивности света и фузариозного увядания на содержание фотосинтетических пигментов, экстрагированных ацетоном из тканей листьев огурца (мг/г сырой массы)

Table 1. Effect of light intensity and fusarium wilt on the content of photosynthetic pigments extracted with acetone from tissues of cucumber leaves (mg / g fresh weight)

Вариант Variant	Хл *a* Chl *a*	Хл *b* Chl *b*	Хл (*a*+*b*) Chl (*a*+*b*)	Каротиноиды Carotenoids	Хл *a*/Хл *b* Chl *a*/Chl *b*	Хл (*a*+*b*)/ Каротиноиды Chl (*a*+*b*)/ Carotenoids
Контр., 6000 лк Control, 6,000 lux	2,49±0,05	0,86±0,02	3,35±0,07	0,69±0,01	2,89±0,01	4,79±0,03
F. ox., 6000 лк *F. ox*., 6,000 lux	2,84±0,37	0,99±0,13	3,82±0,50	0,78±0,09	2,87±0,01	4,84±0,04
Контр., 11000 лк	2,38±0,09	0,79±0,03	3,17±0,1	0,66±0,02	2,99±0,02	4,77±0,03
F. ox., 11000 лк *F. ox*., 11,000 lux	1,92±0,04	0,64±0,01	2,56±0,05*	0,53±0,01*	3,00±0,01	4,83±0,04

Примечание: *F. ox*. – инфицирование грибом *Fusarium oxysporum* sp.

В экспериментах, выполненных с помощью ВЭЖХ, зависимость содержания пигментов от интенсивности освещения проявилась еще более выразительно (табл. 2, 3). Сравнение данных, рассчитанных на единицу площади, показало, что в контрольных образцах общее содержание пигментов увеличивалось при более высокой интенсивности света. В зараженных же растениях при выращивании на свету 6000 лк содержание пигментов возрастало по сравнению с контролем, а при выращивании на свету большей интенсивности (11000 лк) − снижалось, причем действие патогена при более высокой интенсивности освещения ингибировало содержание всех пигментов.

Следует отметить, что в составе каротиноидов отсутствовал зеаксантин, содержание которого обычно возрастает на свету высокой интенсивности [18]. Это свидетельствует о том, что виолаксантиновый цикл не задействован в защитных реакциях при фузариозе в условиях использованного нами диапазона интенсивности света.

Таблица 2. Влияние фузариозного увядания на содержание фотосинтетических пигментов (мкг/см^2) в тканях листьев огурца при выращивании на свету 6000 лк

Table 2. Effect of fusarium wilt on the content of photosynthetic pigments (μg / cm^2) in the tissues of cucumber leaves when grown in the light of 6,000 lux

Пигмент Pigment	Контроль Control	*Fusarium ox.*	% к контролю % to control
Неоксантин Neoxanthin	1,40±0,06	1,77±0,07*	126,43
Виолаксантин Violaxanthin	1,41±0,13	1,59±0,14	112,77
Антераксантин Antheraxanthin	1,13±0,13	1,71±0,35	151,33
Лютеин Lutein	3,10±0,24	4,87±0,03*	157,10
Хл *b* Chl *b*	10,89±0,02	17,56±0,27*	161,25
Хл *a* Chl *a*	22,73±0,12	37,15±1,27*	163,44
Хл (*a* + *b*) Chl (*a*+*b*)	33,62±0,14	54,71±1,54*	162,73
β-каротин β- carotene	2,37±0,16	3,39±0,19	143,04

Известно, что в качестве показателя изменений состояния фотосинтетического аппарата и, прежде всего, фотохимических реакций в ФС 2 при действии различных стрессов используются флуоресцентные параметры [19,20]. Сравнительный анализ действия света разной интенсивности на функциональную активность фотосинтетического аппарата растений огурца при фузариозном увядании показал (табл. 4), что в здоровых растениях. выращенных в условиях разной освещенности, не наблюдалось изменений потенциального квантового выхода фотохимических реакций (F_v/F_m). При этом, эффективный квантовый выход фотохимических реакций ($Y_{(II)}$) был более низким у растений, выращенных при 6000 лк. Инактивация ФС 2 отражалась на скорости транспорта электронов между фотосистемами (ETR), величина которой у растений, сформированных при 6000 лк, была на 12 % ниже по сравнению с растениями, выросшими при 11 000 лк. При более низкой интенсивности света у растений огурца фотохимическое тушение флуоресценции Хл (qP) было на 14 % ниже наблюдаемого при выращивании на свету 11 000 лк. Заметно также снижение (на 22 %) количества открытых реакционных центров (qL).

Данные о фотохимическом тушении и скорости транспорта электронов показывают, что в условиях более низкой освещенности меньшая часть фотонов, поглощаемых ФС 2, используется на фотосинтез. Следует

отметить, что значения коэффициентов нефотохимического тушения флуоресценции Хл (qN) были примерно равными для обоих вариантов.

Таблица 3. Влияние фузариозного увядания на содержание фотосинтетических пигментов (мкг/см^2) в тканях листьев огурца при выращивании на свету 11000 лк

Table 3. Effect of fusarium wilt on the content of photosynthetic pigments (μg/cm^2) in the tissues of cucumber leaves when grown in the light of 11,000 lux

Пигмент Pigment	Контроль Control	*Fusarium ox.*	% к контролю % to control
Неоксантин Neoxanthin	1,81±0,07	0,79±0,16*	43,65
Виолаксантин Violaxanthin	1,72±0,02	1,31±0,13	76,16
Антераксантин Antheraxanthin	1,75±0,27	1,48±0,13	84,57
Лютеин Lutein	4,37±0,11	3,13±0,26*	71,62
Хл *b* Chl *b*	15,57±0,18	11,70±0,20*	75,14
Хл *a* Chl *a*	34,72±0,21	25,42±0,23*	73,21
Хл (*a*+*b*) Chl (*a*+*b*)	50,29±0,39	36,12±0,43*	71,82
β-каротин β- carotene	3,25±0,15	3,62±0,09	7,.69

Таким образом, в инфицированных растениях огурца фотохимическая активность мало зависела от уровня освещенности. Следует отметить, что обнаруженные различия активности ФС 2 в разных условиях освещения в основном были менее выражены, чем изменения содержания фотосинтетических пигментов.

Изменение общего содержания АФК в ткани листа показано на рисунке 1. Видно, что количество АФК увеличивалось при заражении только в условиях более высокой интенсивности света, несмотря на то, что общее его содержание на свету низкой интенсивности было в несколько раз выше, чем на более высоком. Можно предположить, что включение АФК в защитные реакции при изменении интенсивности освещения осуществляется разными путями. Ранее мы показали, что в зеленых проростках ячменя, выращенных при достаточно низкой интенсивности освещения (4000 лк), содержание АФК при действии грибного патогена *Bipolaris sorokiniana* (Saac.) Shoem. повышалось [21]. В растениях же огурца такая картина наблюдалась только при более высокой интенсивности освещения на фоне значительного снижения содержания фотосинтетических пигментов.

Таблица 4. Параметры PAM-флуориметрии в листьях здоровых и инфицированных грибом Fusarium oxysporum растений огурца, выращенных при разной интенсивности света

Table 4. PAM-fluorimetry parameters in leaves of healthy cucumber plants and infected with the fungus Fusarium oxysporum ones, grown at different light intensities

Параметры Parameters	6000 лк 6,000 lux		11000 лк 11,000 lux	
	Контроль Control	Fusarium oxysporum	Контроль Control	Fusarium oxysporum
F_0	1,299	1,138	1,218	1,171
F_m	4,883	5,001	4,661	4,742
F_v	3,584	3,863	3,443	3,571
F_v/F_m	0,734	0,747	0,739	0,753
ETR	13,9	12,2	15,7	14,4
$Y(ll) - \Phi_{фс2}$	0,252	0,258	0,289	0,262
qP	0,388	0,370	0,444	0,396
qN	0,431	0,476	0,423	0,479
qL	0,181	0,148	0,221	0,170

Примечание: Представлены результаты типичного эксперимента.

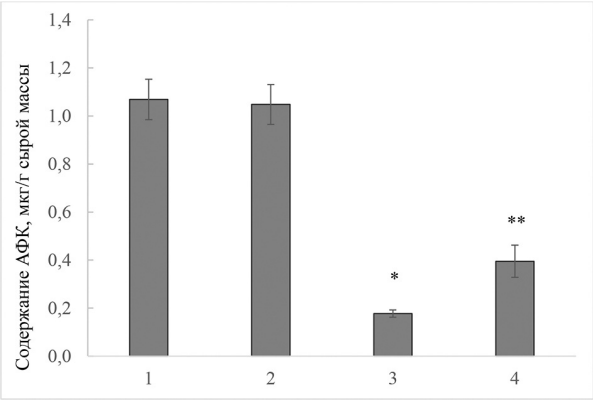


Рис. 1. Изменение общего содержания АФК в листовых тканях здоровых и зараженных грибом *Fusarium oxysporum* растений огурца, выращенных при разной интенсивности света: 1 – контроль, 6000 лк; 2 – F. ox, 6000 лк;, 3 – контроль, 11000 лк; 4 – F. ox, 11000 лк; * − различия достоверны между 1 и 3; **− различия достоверны между 2 и 4

Fig. 1. Change in the total ROS content in the leaf tissues of healthy cucumber plants and infected with the fungus *Fusarium oxysporum* ones, grown at different light intensities: 1 − control, 6,000 lux; 2 − F. ox, 6,000 lux; 3 − control, 11,000 lux; 4 − F. ox, 11,000 lux; ; * − differences are significant between 1 and 3; **− differences are significant between 2 and 4

Активность АПР как представителя антиоксидантной защиты приведена в таблице 5. Видно, что активность фермента в листьях огурца увеличивалась при заражении только на низкой освещенности. При этом, как отмечено выше (рис. 1), в здоровых тканях в условиях повышенной освещенности (11000 лк) содержание общего количества АФК было существенно ниже по сравнению с растениями, выращенными на низком свету (6000 лк).

Таблица 5. Влияние условий освещения на активность АПР в тканях листа здоровых и зараженных грибом *Fusarium oxysporum* растений огурца, выращенных при разной интенсивности света

Table 5. Effect of lighting conditions on APR activity in leaf tissues of healthy cucumber plants and infected with the fungus *Fusarium oxysporum* ones, grown at different light intensities

№	Вариант Variant	Освещенность, лк Lightening, lux	АПР, нмоль·мкг$^{-1}$ белка·ч$^{-1}$ APR, nMol μg^{-1} protein h^{-1}
1	Контроль Control	6 000	915,2 ± 22,5
2	*F. ox*	6 000	1335,4 ± 127,9*
3	Контроль Control	11 000	1026,7 ± 114,2
4	*F. ox*	11 000	1172,8 ± 12,9

* *Примечание*: *F. ox*.– инфицирование грибом *Fusarium oxysporum* sp.

Заключение. Проведенные исследования показали, что ответные реакции на заражение *Fusarium oxysporum* sp. в тканях листа огурца, содержащих хлоропласты, сформированные в растениях, выращенных при разной интенсивности света умеренного диапазона (6000 и 11000 лк), различались по ряду показателей. В результате инфицирования количество фотосинтетических пигментов в листьях растений, выращенных при 6000 лк, возрастало по сравнению с контролем, что может указывать на усиление биосинтеза пигментов. Заражение в условиях более высокой интенсивности света (11000 лк) существенно усиливало катаболизм пигментов. В защитных реакциях при фузариозе в условиях использованного нами диапазона интенсивности света не был задействован виолаксантиновый цикл, о чем свидетельствует отсутствие зеаксантина во всех вариантах эксперимента.

Установлено, что в инфицированных растениях огурца фотохимическая активность ФС 2 слабо зависела от уровня освещенности. Тем не менее, при более низкой интенсивности света наблюдали снижение скорости транспорта электронов между фотосистемами (ETR), коэффициента фотохимического тушения флуоресценции Хл (qP) и количества открытых реакционных центров (qL) – на 14, 12 и 22 %, соответственно.

Общее содержание АФК в фотосинтезирующих тканях листа увеличивалось при заражении растений, выращенных при повышенной интенсивности света. При этом количество АФК при освещенности 6000 лк в несколько раз превышало наблюдаемое при 11000 лк и не зависело от заражения. При этом активность АПР как фермента антиоксидантной защиты непосредственно в хлоропластах существенно не увеличивалась в зараженных фузариозом растениях огурца, выращенных при 11000 лк.

Полученные результаты свидетельствуют о различных механизмах защитных реакций в листьях растений огурца, сформированных при разной интенсивности света, на инфицирование грибным патогеном *Fusarium oxysporum*.

Литература

1. Signalling crosstalk in light stress and immune reactions in plants / A. Trotta [et al.] // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. – 2014. – 369(1640):20130235. Published 2014 Mar 3. doi:10.1098/rstb.2013.0235.

2. Roden, L. C. Lights, Rhythms, Infection: The Role of Light and the Circadian Clock in Determining the Outcome of Plant–Pathogen Interactions / L. C. Roden., R. A. Ingle // *The Plant Cell*. – 2009. – Vol. 21 – P. 2546–2552.

3. Thomas, G. Light Regulation and Daytime Dependency of Inducible Plant Defenses in Arabidopsis: Phytochrome Signaling Controls Systemic Acquired Resistance Rather Than Local Defense / G. Thomas., J. Zeier // Plant Physiol. – 2008– Vol. 147(2) – P. 790–801.

4. Phytochrome signalling modulates the SA-perceptive pathway in Arabidopsis / T. Genoud [et al.] // Plant J. – 2002. – Vol. 31. – P. 87–95.

5. Genetic analysis of two Arabidopsis DNA polymerase epsilon subunits during early embryogenesis / A. Ronceret [et al.] // The Plant Journal. – 2005. – Vol. 44, № 2. – P. 223–236.

6. Chloroplast signaling and lesion simulating disease 1 regulate crosstalk between light acclimation and immunity in Arabidopsis / P. Muhlenbock [et al.] // The Plant Cell. – 2008. – Vol. 20. – P. 2339–2356.

7. Lozano, J. C. Differentiation of Races of Pseudomonas solanacearum by a leaf infiltration technique / J. C. Lozano, L. Sequeira // Phytopathology. – 1970. – Vol. 60. – P. 833–838.

8. Reimers, P. J. Increased Activity of a Cationic Peroxidase Associated with an Incompatible Interaction between Xanthomonas oryzae pv oryzae and Rice (Oryza sativa) / P. J. Reimers, A. Guo, E. Jan // Leach Plant Physiology. –1992. – Vol. 99, № 3. –P. 1044–1050

9. Griebel, T. Light regulation and daytime dependency of inducible plant defences in Arabidopsis: phytochrome signalling controls systemic acquired resistance rather than local defence / T. Griebel, J. Zeier // Plant Physiol. – 2008. – Vol. 147. – P. 790–801.

10. Photosynthesis, photorespiration, and light signaling in defense responses / S. Kangasjärvi [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2012. – Vol. 63, № 4. – P. 1619–36.

11. Gollan, P. J. Photosynthetic light reactions: integral to chloroplast retrograde signaling // P. J. Gollan, M. Tikkanen, E. M. Aro // Curr. Opin. Plant Biol. – 2015. – Vol. 27. – P. 180–191.

12. Шлык, А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений / отв. ред. О. А. Павлинова. − М.: Наука, 1971. – С. 154–170.

13. Rodrigues–Amaya, D. B. Handbook for Carotenoid Analysis / D. B. Rodrigues – Amaya // Harvest Plus / 2004. – P. 63.

14. Корнеев, Д. Ю. Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла / Д. Ю. Корнеев // Киев: Альтерпрес, 2002. – С. 188.

15. LeBel, C. P. Evaluation of the probe 2′,7′-dichlorofluorescein as an indicator of reactive oxygen species formation and oxidative stress / C. P. LeBel, H. Ischiropoulos, S. C. Bondy // Chem. Res.Toxicol. – 1992. – Vol. 5, № 2. – P. 227–231.

16. Nakano, Y. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts / Y. Nakano, K. Asada // Plant Cell Physiol. – 1981. – Vol. 22. № 5. – P. 867–880.

17. Protein measurement with the Folin phenol reagent / O. H. Lowry [et al.] // J. Biol. Chem. – 1951. – Vol. 193. – P. 265–275.

18. Маслова, Т. Г. Современные представления о функционировании виолаксантинового цикла (развитие идей Д. И. Сапожникова) / Т. Г. Маслова, Е. Ф. Марковская // Физиология растений. – 2012. – Т. 59, № 3. – С. 472–474

19. Krause, G. H. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics / G. H. Krause, E.Weis // Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. –1991. – Vol. 42. – P. 313–349.

20. Креславский, В. Д. Последействие теплового шока на индукцию флуоресценции и низкотемпературные спектры флуоресценции листьев пшеницы / В. Д. Креславский, М. С. Христин // Биофизика. –2003. – Т. 48, № 5. – С. 865–872.

21. Кабашникова, Л. Ф. Структурно-функциональное состояние хлоропластов в связи с формированием иммунного ответа при инфицировании проростков ярового ячменя грибным патогеном *Bipolaris Sorokiniana* / Л. Ф. Кабашникова [и др.] // Ботаника (исследования): Сборник научных трудов / Минск, 2020. – Выпуск 49. – С. 275–290.

Поступила в редакцию 21.10.2021 г.

УДК 582.572.7:547.918:581.522.4:712.4

Е. Н. КАРАСЕВА

ДИОСКОРЕЯ КРЫЛАТАЯ (*DIOSCOREA ALATA* L.) – ПЕРСПЕКТИВНОЕ ДЛЯ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ ЛЕКАРСТВЕННОЕ И ВЫСОКОДЕКОРАТИВНОЕ РАСТЕНИЕ (ОБЗОР)

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: Ledymc_net@mail.ru

Аннотация. В настоящее время значительно вырос интерес к лекарственным растениям как к ценным натуральным источникам биологически активных соединений. Одними из таких перспективных лекарственных растений являются виды из рода *Dioscorea* (сем. Dioscoreaceae). Показано, что для выращивания в условиях Беларуси особого внимания заслуживает диоскорея крылатая (*Dioscorea alata* L.), которая является не только ценным источником стероидных сапонинов (диосгенин), но и перспективным интродуцентом для использования в озеленении офисных и общественных помещений, комнат психологической реабилитации и садоводческой терапии, а также в виде горшечной культуры в открытом грунте для вертикального озеленения.

Ключевые слова: сапонины, диосгенин, озеленение, виды рода *Dioscorea*, клубни, ионообменный субстрат, *Dioscorea alata* L.

A. N. KARASEVA

DIOSCOREA ALATA L. AS PROSPECTIVE MEDICINAL AND HIGHLY DECORATIVE PLANT FOR THE CONDITIONS OF BELARUS (REVIEW)

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

Annotation. Currently, interest in medicinal plants has grown significantly as a valuable natural source of biologically active compounds. This is due to the fact that such plant substances are more easily included in vital processes and do not cause side effects in humans. Some of the promising medicinal plants are species from the genus *Dioscorea*. Among the species of *Dioscorea*, special attention deserves *Dioscorea* winged, which is not only a valuable source of steroidal saponins (diosgenin), but also an elegant decorative component.

Keywords: saponins, tubers, gardening, ion exchange substrate, *Dioscorea alata* L.

Несмотря на большой ассортимент синтетических лекарственных препаратов, используемых в современной медицине, интерес к лекарственным средствам народной медицины не исчез, а наоборот, возрождается, что связано с ростом аллергических реакций на прием синтетических лекарственных препаратов и часто плохой их метаболизацией. Известно, что применение средств растительного происхождения прежде всего объясняется высокой биологической активностью веществ. Природные химические соединения, как правило, обладают менее вредным

воздействием на организм, чем их синтетические аналоги, а это в свою очередь позволяет применять их с лечебной и профилактической целью. Химический состав растений разнообразен, он включает такие биологически активные соединения как гликозиды, сапонины, алкалоиды, дубильные вещества, флавоноиды, различные органические кислоты, витамины, жирные и эфирные масла, микроэлементы и другие. В этом ряду особое место занимают сапонины [1].

Сапонины – это сложные органические соединения из группы гликозидов растительного происхождения. Они хорошо растворяются в воде и спиртах. Водные растворы сапонинов при взбалтывании образуют стойкую пену, подобную мыльной, что связано с их высокой поверхностной активностью. Способность образовывать пену и обусловила их название (sapo – мыло) [2].

Сапонины характеризуются широким спектром фармакологического действия как самостоятельная группа биологически активных веществ. Они тормозят развитие атеросклероза, артериальной гипертензии, уменьшают всасывание холестерина из кишечника и стимулируют выведение его с желчью, стимулирует овуляционные процессы у животных, обладают антимикробной и антигрибковой активностью. Стероидные сапонины активируют синтез кортикостероидов и стимулируют выработку гормонов, обладая эмульгирующим эффектом.Наибольшее значение среди сапогенинов, из которых получают гормональные препараты, имеет диосгенин. В качестве источника сырья для получения диосгенина используют корневища дикорастущих и культивируемых видов растений с высоким содержанием этого стероида.

Основными поставщиками сырья для промышленного производства диосгенина являются Мексика, Индия и Китай [3].

Одними из наиболее перспективных лекарственных растений, содержащих стероидные сапонины, для получения диосгенина являются виды из рода *Dioscorea* (сем. Dioscoreaceae).

Характеристика семейства Диоскорейные

Семейство диоскорейных – Dioscoreaceae – входит в порядок диоскореецветных класса однодольных цветковых растений, представленое многолетними травянистыми растениями или кустарниками. В основном это вьющиеся растения с подземным запасающим клубнем или корневищем. Клубни достаточно крупные, несут всего один тонкий и недолговечный, чаще всего однолетний вьющийся побег, не успевающий, как правило, за один сезон существования подняться по своей опоре на большую высоту. Листья диоскорейных очередные, реже супротивные, достигающие иногда больших размеров, характеризуются пальчатым жилкованием с анастомозами между жилками первого порядка, чем создается сетчатость (что является более характерным для двудольных растений). Цветки большей частью мелкие, собранные в соцветия разных типов, двудомные, реже обоеполые, актиноморфные, трехчленные. Плод диоскорейных обычно коробочка, иногда нераскрывающаяся крылатка, редко – ягода [4].

Семейство диоскорейных состоит из 2 подсемейств: диоскорейные (Dioscoreoideae) и трихоподовые (Trichopodoideae). Подсемейство собственно диоскорейных включает две трибы – стеномерисовых (Stenomerideae) и диоскорейных (Dioscoreae). Триба диоскорейных охватывает 6 родов, объединяющих более 700 видов. Центральное место в трибе диоскорейных и во всем семействе занимает род диоскорея – *Dioscorea* L., включающий 650 видов. Виды рода диоскорея распространены во всех тропических областях мира, исключая лишь некоторые обширные крайне засушливые территории Африки (Сахара) и Евразии (Аравийский полуостров).

На территории бывшего СССР в настоящее время произрастают диоскорея кавказская (*Dioscorea caucasica* Lipsky) и диоскорея ниппонская (*Dioscorea nipponica* Makino), для которых характерны небольшие ареалы распространения [4].

Диоскорея кавказская – *Dioscorea caucasica* Lipsky – вид, находящийся под угрозой исчезновения. Ареал обитания – Кавказ, Закавказье. Узкий эндемик. Растет на маломощных карбонатных почвах в лесном поясе, преимущественно на южных склонах до высоты 1600 м над уровнем моря. Травянистая двудомная многолетняя лиана, длиной до 4 метров и довольно толстым сочным корневищем. Нижние листья в мутовках по 3–5, верхние очередные, заостренно–овально-сердцевидные, цельнокрайние, снизу опушенные. Цветки мелкие раздельнополые, с простым желто-зеленым околоцветником из 6 листочков, собраны в редкие кистевидные колосья, расположенные обычно по одному в пазухах листьев. Плод – трехкрылая, округлая буро-коричневая коробочка. Возобновляется очень медленно: годичный прирост корневища составляет 1,1–8,7 г сырой массы. Для полного восстановления зарослей после заготовок на лекарственное сырье требуется 15–20 лет. Ареал в результате усиленной заготовки корневищ в качестве лекарственного сырья сокращается и сдвигается к востоку от Черного моря. [5].

Диоскорея ниппонская – *Dioscorea nipponica* Makino – (синонимы: диоскорея многокистевая – *Dioscorea polystachya* auct. non Turcz., диоскорея Жиральда – *Dioscorea giraldii* Knuth.) – двудомная лиана, произрастающая на территории Дальнего Востока Российской Федерации, в Китае. Для России диоскорея ниппонская является дальневосточным эндемом и внесена в Красную книгу. Растет в Приморском крае, южных районах Хабаровского края, на юго-востоке Амурской области. В Китае растение встречается практически на всей северо-восточной части страны. Местами обитания диоскореи ниппонской являются изреженные широколиственные и смешанные леса, лесные поляны и опушки, долины рек, ручьев и стариц. Часто растение встречается среди зарослей кустарников [6]. Это многолетняя травяная лиана с вьющимися стеблями длиной до 4 м. Корневище горизонтальное, расположенное неглубоко от поверхности почвы, толстое, мало разветвленное, коричневато-бурое, длиной до 1,5 м и до 2 см в диаметре, со следами отмерших стеблей, несущее на всем протяжении тонкие, жесткие, шнуровидные корни. Стеблей несколько, они простые, голые. Листья длиной до 12 см, очередные, черешковые,

широкояйцевидные с сердцевидным основанием. Нижние листья семилопастные, с короткими боковыми лопастями и более крупной, вытянутой, заостренной средней. Верхние листья трех- пяти-лопастные или с почти не выраженными лопастями. Листовые пластинки коротко-опушенные или у некоторых форм снизу густо и мягко-опушенные. Цветки однополые, двудомные, около 3 мм. Цветет в июле-августе, семена созревают в августе-октябре [7].

Согласно «Инструкции по сбору и сушке корневищ с корнями диоскореи ниппонской» сырье заготавливают в течение всего летне-осеннего периода, преимущественно после созревания ее семян. Средний вес корневищ зависит от возраста растений, условий местообитания и степени нарушенности зарослей заготовками. На промысловых зарослях средний вес сырых корневищ диоскореи ниппонской от растений в возрасте 10–20 лет колебался от 10 до 50 г. На участках, не тронутых заготовками, средний вес сырых корневищ от растений такого же возраста составлял 114–200 г. В природных условиях диоскорея ниппонская возобновляется очень медленно. Годичный прирост корневищ очень мал, от 1 до 9 г сырой массы на 1 побег. Для полного восстановления зарослей после заготовок требуется 10–20 лет. [8].

В клубнях диоскореи кавказской содержится до 25 % стероидных гликозидов (сапонинов). Основную часть сапонинов составляет диосцин, который расщепляется на глюкозу, рамнозу и диосгенин. В подземных органах также содержится крахмал и жироподобные вещества. Основными биологически активными веществами клубней диоскореи ниппонской являются стероидные сапонины (до 10 %), среди которых доминирует диосцин. В сырье содержатся также крахмал и жирное масло [7].

Ареал обитания этих видов в последние годы значительно сократился в связи с медленным возобновлением и истощением запасов сырья, растения занесены в Красную книгу Российской Федерации [6].

Клубни ряда видов из рода *Dioscorea* с очень низким содержанием сапогенинов – один из древнейших видов пищи у народов тропических стран. Именно в этой связи в широкий обиход вошло обобщенное название ямс (yams) [9].

Ямс – клубневая культура, очень похожая на картофель. Оптимальные условия для роста и развития ямса – районы с субтропическим и тропическим климатом, т.е. в странах Латинской Америки, Азии, Африки, Океании, где является одной из важнейших сельскохозяйственных культур. В Нигерии и Камеруне урожай ямса составляет около 10 т/га. Для быстрого роста растению требуется высокая освещенность и механическая опора для стебля. Растение очень устойчиво к болезням и практически не повреждается вредителями. Клубни ямса содержат большое количество крахмала, а также протеин, витамины С и В и минеральные элементы. Пищевая ценность клубней ямса очень высокая, они содержат много крахмала и белка. Имеют сладковатый вкус. «Сладкий картофель» – второе название ямса, и используют его аналогично картофелю: жарят, варят, запекают. Но чаще всего клубни высушивают и перемалывают в муку.

Из муки готовят вкусные пресные лепешки, добавляют ее и в соусы, которые придают блюдам особый пикантный вкус. Африканские народы считают ямс хлебом, и он для них – основная пища. В разных районах мира ямс имеет свои разновидности: в Африке распространен белый и желтый ямс, в Китае растет японский, китайский и корейский ямс, в Азии – так называемый «крылатый» и съедобный ямс [10].

***Dioscorea alata* L. – перспективное растение для условий Беларуси**

Диоскорея крылатая (*Dioscorea alata* L.) – многолетняя травянистая лиана, произрастающая в Юго-Восточной Азии. Этот вид практически неизвестен в дикой природе, за исключением локальных популяций на Гаити, а также в Соединенных Штатах Америки, особенно в Луизиане, Джорджии, Алабаме, Пуэрто-Рико, на Виргинские островах и во Флориде, где он считается инвазивным видом [11]. Наиболее распространенный вид ямса выращивается в тропиках, в первую очередь, в Индии, Западной Африке и в Центральной Америке. В Юго-Восточной Азии это самый важный вид ямса, который выращивают практически во всех странах региона, особенно в Индонезии, Малайзии, Папуа-Новой Гвинее, Филиппинах и Вьетнаме [12].

Стебли этого растения четырехугольные, с 4 продольно крылатыми, волнистыми зелеными или красноватыми выростами; зрелые стебли (у основания) цилиндрические и колючие. Лоза диоскореи крылатовидной недревесная, извилистая (вправо), достигает 10–15 м длины. Листья, как правило, супротивные, иногда чередуются на быстрорастущих ветвях, кожистые, широкояйцевидные. Соцветия пазушные, цветки однополые. Благодаря фиолетовой окраске листьев может быть ценным естественным источником пищевого красителя. Корневая система мочковатая, неглубокая, в основном приурочена к верхнему 1 м почвы. В зоне корневой шейки растений и на подземной части стебля формируются боковые побеги – столоны. Количество столонов на одном растении – 4–20 шт., длина их от 5 до 50 см. Длина столонов – сортовой признак *Dioscorea alata* L., по которому выделяют сорта компактные, среднеплотные и рыхлокустовые, или раскидистые. Концы столонов утолщаются, образуются клубни – товарную часть растений *Dioscorea alata* L. .

Клубни обычно одиночные, разного размера и формы, часто очень крупные; цилиндрической или булавовидной (нередко встречаются на глубине до 1,5 м) или шаровидной формы; толстые и короткие, грушевидный, часто с различными лопастями или пальцами, фасциями или изогнутыми; поверхность гладкая, реже слегка трещиноватая, кожа от коричневого до черного цвета; мякоть белая, кремовая или пурпурная (на поверхности или по всей поверхности). Масса клубней варьирует от 50–300 г до 10 – 15 кг и более. Мелкие клубни *Dioscorea alata* L. используют, как правило, для размножения [13].

Несмотря на отсутствие ярко окрашенных цветков, высокую декоративность растений диоскореи крылатой обеспечивают оригинальные листья и упорядоченная мозаика, которую они образуют. Из-за высоких

линейных приростов *Dioscorea alata* L. представляет интерес для интродукции как высокодекоративное растение для озеленения офисов, холлов гостиниц, торговых сетей, оранжерей, а также для вертикального озеленения с использованием горшечных культур (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид растений *Dioscorea alata* L.
Fig. 1. Appearance of *Dioscorea alata* L.

С целью интродукции диоскореи крылатой в культурную флору Беларуси в Институте экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси в 2012 г. были развернуты исследования по разработке технологии микроклонального размножения этого вида и агротехники его возделывания в открытом и закрытом грунте для дальнейшего внедрения в практику фармакологической промышленности и озеленение. В экспериментальной работе использовался безвирусный материал *Dioscorea alata* L., полученный из Шри Ланка из Центра инновационных технологий размножения растений (The Center of Innovation Technology of Plant Propagation, Moratuva, Sri Lanka) в виде клубней длиной 7–8 см, толщиной 4–5 см (рис. 2) [14].

Для размножения клубни высаживали в ионообменный субстрат, а из формирующихся лианообразных побегов заготавливали черенки. Сформировавшиеся черенки пересаживали в ионообменный субстрат и укореняли на биотехнических комплексах, установленных в закрытом помещении с искусственным освещением, на которых размещали пластиковые контейнеры размером 20×20 см^2 с вариантами модифицированного субстрата (рис. 3).



Рис.2. Внешний вид клубней *Dioscorea alata* L.
Fig. 2. The appearance of the tubers of *Dioscorea alata* L.



Рис. 3. Сформировавшиеся черенки *Dioscorea alata* L. на ионообменном субстрате
Fig. 3. Formed cuttings *Dioscorea alata* L.on an ion-exchange substrate

Для повышения влагоемкости корнеобитаемой среды использовали разного состава и размера гранулы гидрогелей. Модификацию субстрата осуществляли путем внесения определенного количества гидрогеля марки ECOFLOC A-07 (KHP) в следующих вариантах: гидрогель без удоб-

рений крупной и мелкой фракции, гидрогель с бентонитом, гидрогель с гуматом, гидрогель К+ (вариант представляет собой полиакриламид на основе калия). Гель в дозах 1,0 и 0,5 г/л вносили в субстрат ТРИОНА® после предварительного его набухания [14, 15].

В результате проведенных исследований установлено, что в ионообменном субстрате, модифицированном 1 г/л крупной фракции гидрогеля, клубни растений *Dioscorea alata* L. способны накапливать наибольшее количество крахмала, сухого вещества, аскорбиновой кислоты и флавоноидов [14].

Изучение пигментного комплекса растений *Dioscorea alata* L., выращенных на модифицированном ионообменном субстрате с добавлением гидрогелей, позволяет оптимизировать условия адаптации растений при выращивании в закрытом грунте. Исходя из исследованных параметров флуоресценции хлорофилла, наиболее благоприятные для продуктивности фотосинтеза условия были получены в варианте грунта с добавлением 1 г крупной фракции гидрогеля и при освещении ДНаТ-400 [16].

Таким образом, показано, что разработанные на основе результатов проведенных исследований оптимизированные по агрофизическому составу и агрохимическим свойствам модифицированные ионообменные субстраты позволяют успешно выращивать и быстро адаптировать к условиям *in vivo* растения диоскореи крылатой для использования не только в качестве источника биологически активных соединений, но и как высокодекоративный компонент в создании композиций при озеленении офисных и общественных помещений, комнат психологической реабилитации и садоводческой терапии.

Литература

1. Биологически активные вещества растительного происхождения (под ред. Б. Н. Головкина) / М.: Наука, 2001, т. 1, 368 с.

2. Гусев, А. А. Сравнительное изучение биологических свойств сапонинов / А. А. Гусев; Ветеринария. 1980, № 1. – С. 26–30.

3. Киселева, Т.Л. Лекарственные растения в мировой медицинской практике: государственное регулирование, номенклатура и качество / Т. Л. Киселева, Ю. А. Смирнова. – М.: Издательство Профессиональной ассоциации натуртерапевтов, 2009. – 295 с.

4. Грушвицкий, И. В. Семейство диоскорейные (Dioscoreaceae) / И. В. Грушвицкий // Жизнь растений : в 6 т. / гл. ред.: А. А. Федоров. – М., 1982. – Т. 6 : Цветковые растения / А. Л. Тахтаджян [и др.]. – С. 228–241.

5. Лекарственные растения, включенные в Красную книгу: учебное пособие / Мирович, В. М., Горячкина, Е. Г., Бочарова Г. И., Федосеева, Г. М. – ФГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава РФ, кафедра фармакогнозии и ботаники. – Иркутск : ИГМУ, 2016. – 70 с.

6. Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР. М., 1976. – 248 с.

7. Сорокина, А. А. Изучение иммуномодулирующего действия сапонинов диоскореи при артрите / А. А. Сорокина, Бу Вэй // Фармация. – 2014. – № 3. – С. 45–48.

8. Сорокина А. А. Совершенствование характеристик подлинности сырья диоскореи ниппонской / А. А. Сорокина, Бу Вэй // Сб. материалов XDC Международного конгресса «Человек и лекарство», Москва, 7–11 апреля 2014. – С. 329.

9. Васильева, И. С. Стероидные гликозиды растений и культура клеток диоскореи, их метаболизм и биологическая активность / И. С. Васильева, В. А. Пасешниченко // Успехи биологической химии. – 2000. – Т .40. – С. 153–204.

10. Coursey, D. G. Yams. *Dioscorea* spp. (*Dioscoreaceae*) / D. G. Coursey // Evolution of crop plants. Edited by: N. W. Simmonds, Longman group limited. London, New York, 1976. Chap. 23. – P. 70–74.

11. Григорьева, Н. М. // География растений: учебное пособие / Н. М. Григорьева. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 400 с.

12. Abraham, K. Floral biology and artificial pollination in *Dioscorea alata* L. / K. Abraham, P. G Nair // Euphytica. – 1990. – 48(1). – P. 45–51.

13. Lebot, V. Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids / V. Lebot, [ed. by Atherton J., Rees A.]. – Wallingford, UK: CABI, 2008. – 404 pp.

14. Карасёва, Е. Н. Физиолого-биохимическая оценка клубней *Dioscorea alata* L. выращенных на модифицированном ионообменном субстрате / Е. Н. Карасёва // Овощи России. – 2021. – № 3. – С. 92–96.

15. Карасева, Е. Н. Адаптационные реакции растений *Dioscorea alata* L. при ускоренном размножении на оптимизированных ионообменных субстратах / Е. Н. Карасева, Т. Г. Янчевская. // Ботаника (исследования): Сб. научных трудов. Вып. 43 / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2014. – С. 242–249.

16. Карасева, Е. Н. Накопление фотосинтетических пигментов и показатели флуоресценции хлорофилла в листьях *Dioscorea alata* L. при вегетативном размножении растений на ионообменных субстратах / Е. Н. Карасева // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2021. – Т. 66. – № 3. – С. 333–338.

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

УДК 581.4:634.1

Д. В. КУЛАГИН[1], М. П. КУСЕНКОВА[1], А. В. КОНСТАНТИНОВ[1],
Л. А. БОГИНСКАЯ[1], А. С. РАЗУМОВ[2], С. В. УЛЬДИНОВИЧ[3]

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОКЛОНАЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ОСИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МУЛЬТИПЛИКАЦИИ

[1]*Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, e-mail: aqua32@mail.ru*
[2]*Кореневская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси, пос. Кореневка, Беларусь, e-mail: kelb1@tut.by*
[3]*Гомельский опытный лесхоз, Гомель, Беларусь, e-mail: gomel@plho.by*

Аннотация. Исследование направлено на повышение эффективности микроклонального размножения посредством увеличения коэффициента мультипликации и соответственного снижения трудозатрат при получении посадочного материала. Апробировано три минеральных состава питательных сред (WPM, MS, QL), модифицированный сосуд для культивирования и эффект экзогенных регуляторов роста цитокининовой природы 6-БАП, кинетин и аденин в концентрациях 0,1 мг/л, 0,1 мг/л и 10,0 мг/л соответственно. Исследование выполнялось на клонах видовой (*Populus tremula*) и гибридной (*P. tremula×P. tremuloides*) осины. Увеличение коэффициента мультипликации в сравнении с контролем наблюдалось при культивировании на среде WPM с добавлением кинетина и аденина для всех клонов, однако, статистически значимые различия данного показателя отмечены только для клона осины 19 АС (3,1 и 4,3 соответственно).

Ключевые слова: осина, клон, микрорастение, питательная среда, фитогормоны, микрочеренкование, коэффициент мультипликации

D. V. KULAGIN[1], M.P . KUSENKOVA[1], A. V. KONSTANTINOV[1],
L. A. BOGINSKAYA[1], A. S. RASUMOV[2], S. V. ULDINOVICH[3]

OPTIMIZATION OF THE CULTIVATION CONDITIONS FOR ASPEN MICROPLANTS TO INCREASE THE MULTIPLICATION RATE

[1]*Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus, e- mail: aqua32@mail.ru*
[2]*Korenevskaya Experimental Forest Base of Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel district, Belarus, e-mail: kelb1@tut.by*
[3]*Gomel Experimental Forestry, Belarus,e-mail: gomel@plho.by*

Annotation. The main aim of the research was to conduct optimization of multiplication stage of micropropagation by means of increasing in multiplication factor and accordingly to lower expenditures of labour. For research aimes were checked three mineral compositions of mediums (WPM, MS, QL), modificated culture vessel and WPM-mediums with addition of 0,1 mg/l 6-BAP, 0,1 mg/l kinetine and 10,0 mg/l adenin. Research was carried out on three clones. A clone of aspen V22, clones of hybrids *P. tremula×P. tremuloides* 19 AC and 23 AC. Multiplication factor increasing in comparison with the control was observed in case of cultivation on WPM medium with addition of kinetine and adenine for all clones. However statistically significant distinctions are noted only for a clone of an aspen 19 AC (3,1 and 4,3 accordingly).

Keywords: aspen, clone, microplant, *culture* medium, phytohormones, microcutting, multiplication factor

Введение. Повышение эффективности внедрения результатов селекции в практику лесного хозяйства, сохранение ценного генофонда и его вовлечение в отбор и размножение наиболее перспективных форм по комплексу хозяйственно-ценных признаков, возможно при использовании методов биотехнологии растений [1]. Максимум генетического эффекта в селекционных программах дает сокращение времени получения улучшенного посадочного материала путем микроклонального размножения быстрорастущих древесных пород для создания высокопродуктивных плантационных культур интенсивного типа с коротким оборотом рубки. При этом отсутствует зависимость от периодичности семенных лет, качества семян, факторов окружающей среды [2, 3].

Микроклональное размножение включает такие этапы как получение первичной культуры, собственно размножение (в том числе путем микрочеренкования), укоренение регенерантов, адаптация микроклональных растений к условиям *in vivo* и выращивание саженцев на нестерильных субстратах с дальнейшим переводом их в условия закрытого грунта [4]. Каждый этап имеет свои особенности и требует оптимизации в ходе создания интенсивной технологии размножения посредством культуры тканей и органов для снижения трудозатрат, а значит и стоимости производимых микрорастений. Так, одной из трудоемких фаз на стадии размножения *in vitro* является микрочеренкование [5]. Его эффективность характеризует коэффициент мультипликации – кратность увеличения объема растительного материала за один пассаж [6].

Практическое применение методов культуры тканей при создании коллекций сортов и форм древесных растений затруднено необходимостью периодического обновления фонда культивируемого in vitro материала, что связано с существенным уменьшением органогенной активности при длительном депонировании [6, 7]. Указанное явление принято связывать с изменением физиологического статуса тканей и накоплением генетических нарушений, снижающих жизнеспособность и морфогенный потенциал растений [8]. Причинами указанных явлений может выступать воздействие регуляторов роста, неблагоприятных температурного и светового режима, неподходящего спектрального состава света, вызывающего функциональные нарушения фотосинтетического аппарата растений. Кроме того, негативное влияние на перевиваемые культуры может оказывать осмотический стресс, токсическое воздействие высоких концентраций минеральных солей, а также нарушения метаболической активности растений в результате несбалансированной композиции экзогенных регуляторов роста в среде культивирования [9, 10]. В связи с вышесказанным, для организации массового микроклонального размножения *in vitro* и стабильного получения партий микрорастений необходимым является изучение эффектов фитогормонов и гормоноподобных веществ на процессы роста регенерантов, подбор подходящих минеральных составов питательных сред и установление влияния физических условий культивирования на количественные показатели растительного материала.

Таким образом, целью исследования являлась оптимизация процесса микроразмножения посредством изучения влияния различных условий культивирования на характер роста и коэффициент мультипликации асептических культур клонов осины.

Объекты (материалы) и методы исследования. Для проведения исследования из коллекции перевиваемых культур *in vitro* Института леса НАН Беларуси были выбраны клон V22 видовой (*Populus tremula*) и клоны 19 АС и 23 АС гибридной (*P. tremula*×*P. tremuloides*) осины, для которых в настоящее время проводится микроразмножение и адаптация микроклональных растений в условиях *in vivo*. Все работы по микрочеренкованию и культивированию растений проводили в соответствии с общепринятыми методиками [6, 8].

Основу питательных сред составляли смеси минеральных солей по прописям MS [4], WPM [5], QL [6], вносили сахарозу (30,0 г/л) и микробиологический агар (7,0 г/л), витамины и микроэлементы добавляли во все варианты сред по прописи Мурасиге и Скуга. В качестве регуляторов роста испытывали 6-БАП, кинетин и аденин. Кислотный показатель сред доводили до значений pH 5,6–5,8 и автоклавировали 40 минут при 121 °С.

Культивирование осуществлялось при температуре 23±2 °С и постоянном освещении интенсивностью 2000–3000 люкс люминесцентными лампами Osram Daylight (Osram, Российская Федерация), дающими холодный белый свет полного спектра.

До начала эксперимента микрорастения выбранных клонов культивировались на питательных средах WPM (V22) и MS (19 АС и 23 АС), которые позже считались контролем для соответствующих клонов. Для выбранных клонов проводилось микрочеренкование и получаемые одноузловые фрагменты субкультивировались на питательные среды в экспериментальные условия.

Всего было заложено 7 вариантов опыта: культивирование в сосудах объемом 200 мл и высотой 10 см, накрытых крышкой из фольги на безгормональных питательных средах QL, MS, WPM, а также среда WPM, дополненная регуляторами роста с цитокининовой активностью: 0,1 мг/л 6-БАП, 0,1 мг/л кинетина или 10 мг/л аденина, апробировали способ культивирования на среде WPM без регуляторов роста в сосудах объемом 300 мл, высотой 15 см, накрытых крышкой из прозрачного целлофана.

Длительность пассажа составляла 7 недель, после чего часть растений подверглась микрочеренкованию и переносу на питательные среды WPM (V22) и MS (19 АС и 23 АС) для оценки ростовых показателей и жизнеспособности получаемых микропобегов. Другая часть (по одному сосуду для культивирования по 20 микрорастений в каждом) черенковалась обычным способом с подсчетом получаемых микрочеренков (определение коэффициента мультипликации для каждого микропобега).

Результаты исследований и их обсуждение. В экспериментах для всех клонов были получены сходные значения коэффициента мультипликации, однако каждый из изученных клонов характеризовался своими особенностями. Результаты, полученные для клона гибридной осины V22, приведены на рис. 1.

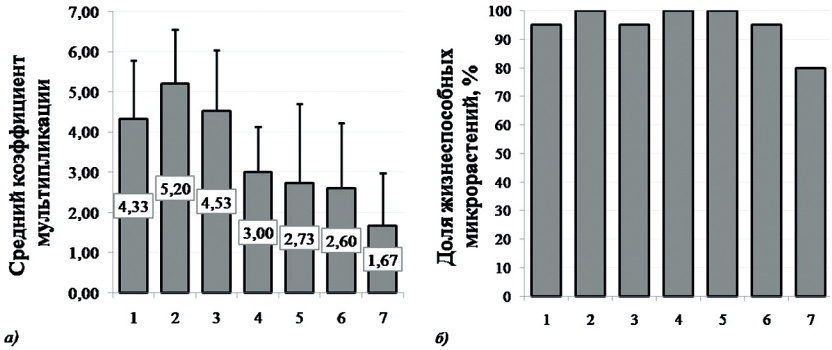


Рис. 1. Значения коэффициента мультипликации
а) и доли жизнеспособных микрорастений б) клона осины V22,
культивировавшихся в различных условиях после 7 недель пассажа
1 – среда WPM (контроль), 2 – среда WPM с добавлением 10 мг/л аденина,
3 – среда QL, 4 – среда WPM с добавлением 0,1 мг/л кинетина,
5 – среда WPM с добавлением 0,1 мг/л 6-БАП, 6 – среда MS,
7 – измененная форма сосуда культивирования

Fig. 1. The values of the multiplication coefficient
a) and the proportion of viable microplants b) of the aspen clone V22
cultivated under different conditions after 7 weeks of passage
1 – WPM medium (control), 2 – WPM medium supplemented with 10 mg / L adenine,
3 – QL medium, 4 – WPM medium supplemented with 0.1 mg / L kinetin,
5 – WPM medium supplemented with 0.1 mg / l l 6-BAP, 6 – MS medium,
7 – changed shape of the culture vessel

Как видно из рисунка, наименьшие значения показателей приживаемости характерны для варианта, в котором использовалась новая конфигурация культурального сосуда. По нашему мнению, это связано с тем, что полимер целлофан является проницаемым для воды, поэтому при культивировании значительная её часть, находившаяся в питательной среде, была потеряна из-за испарения. Изменения в концентрации питательных веществ и недостаток влаги привели к снижению темпов роста и гибели микрорастений [14]. Некоторое, не значимое, снижение показателей роста в культуре побегов клона V22 по сравнению с контролем характерно и для вариантов, в которых применялись регуляторы роста цитокининовой природы – кинетин и 6-БАП. Снижение может быть связано с тем, что культивирование в присутствии названных веществ вызывает нарушение эндогенной регуляции у микрорастений и несбалансированность их роста [15]. Использование цитокинина 6-БАП помимо замедления роста вызывало также изменение морфологии микрорастений. В сравнении с контрольным вариантом они имеют более толстые стебли, выраженную зубчатость листьев.

Недостоверное превышение изучаемого показателя над контролем показали растения, культивирование которых проходило на питательной среде QL и WPM с добавлением аденина. Проведенное после пассажа субкультивирование показало, что микрочеренки всех вариантов опыта являлись жизнеспособными и проявляли сходные темпы роста.

Несколько отличались показатели роста асептических культур гибридной осины (рис. 2).

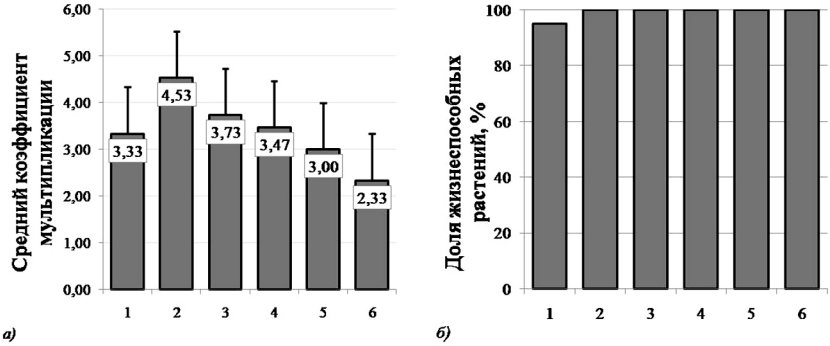


Рис. 2. Значения коэффициента мультипликации (а)
и доли жизнеспособных микрорастений (б) клона 19 АС,
культивировавшихся в различных условиях после 7 недель пассажа
1 – среда MS (контроль), 2 – среда WPM + 10 мг/л аденина,
3 – среда WPM + 0,1 мг/л кинетина, 4 – среда WPM, 5 – среда QL,
6 – среда WPM + 0,1 мг/л 6-БАП

Fig. 2. The values of the multiplication coefficient (a)
and the proportion of viable microplants (b) clone 19 AC,
cultivated under different conditions after 7 weeks of passage
1 – MS medium (control), 2 – WPM medium + 10 mg / L adenine,
3 – WPM medium + 0.1 mg / L kinetin, 4 – WPM medium, 5 – QL medium,
6 – WPM + 0.1 medium mg / l 6-BAP

Как видно из рисунка, средние значения коэффициента мультипликации у клона 19 АС во всех вариантах опыта близки к значениям, полученным для контрольной группы, за исключением случая использования питательной среды WPM с добавлением 10 мг/л аденина. Для данного варианта были выявлены статистически достоверные отличия от контроля.

Следует отметить, что в сравнении с контролем (питательная среда MS) опытная среда культивирования (WPM с добавлением аденина) оказала существенное позитивное влияние за счет композиции минерального состава и гормоноподобного вещества на культуру микропобегов, что согласуется с литературными данными [10]. Регенеранты, культивирование которых проходило на питательной среде с 6-БАП, характеризо-

вались помимо отставания в росте склонностью к каллусообразованию и отсутствию ризогенеза. Клон характеризуется сравнительно высоким уровнем сохранности растений при культивировании *in vitro*.

На рисунке не приведены данные, характеризующие микрорастения, культивировавшиеся с использованием модифицированной формы сосуда культивирования под прозрачной крышкой. Это связано с тем, что микрорастения погибли до начала последнего учета, что, вероятно, как и в случае с регенерантами клона V22 связано с критической потерей воды питательной средой. Микрочеренкование на следующем пассаже продемонстрировало жизнеспособность материала и близкие темпы процессов роста и развития микропобегов всех вариантов опыта.

Микрорастения клона гибридной осины 23 АС характеризовались сравнительно низким показателем доли жизнеспособных растений (рис. 3). Последнее, по нашему мнению, может быть связано с вероятным присутствием эндофитных микроорганизмов в регенерантах данного клона. В ходе культивирования в питательной среде у оснований микропобегов формировались помутнения, характерные для наличия колоний анаэробных бактерий. Вероятно, данный фактор оказал влияние и на размеры и развитие микропобегов. Токсический эффект метаболитов при бактериальной контаминации был описан и в других исследованиях [16].

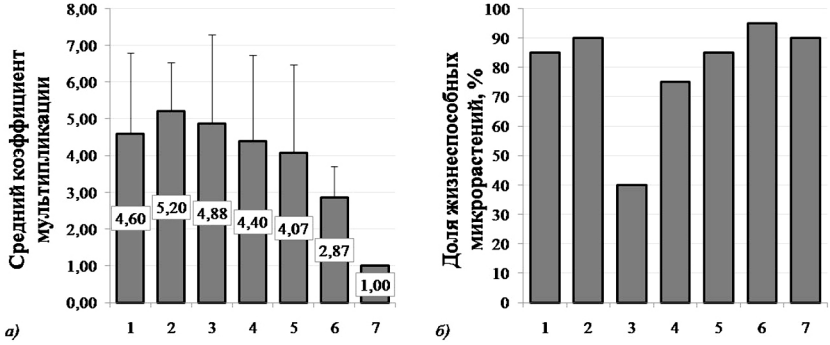


Рис. 3. Значения коэффициента мультипликации (а) и доли жизнеспособных микрорастений (б) клона 23 АС, после 7 недель пассажа:
1 – среда MS (контроль), 2 – среда WPM + 0,1 мг/л кинетина, 3 – сосуда объемом 300 мл и высотой 15 см, 4 – среда WPM + 10 мг/л аденина, 5 – среда WPM, 6 – среда QL, 7 – среда WPM + 0,1 мг/л 6-БАП

Fig. 3. Values of the multiplication coefficient (a) and the proportion of viable microplants (b) clone 23 AC, after 7 weeks of passage:
1 – MS medium (control), 2 – WPM medium + 0.1 mg / l kinetin, 3 – vessels with a volume of 300 ml and a height of 15 cm, 4 – WPM medium + 10 mg/l adenine, 5 – WPM medium, 6 – QL medium, 7 – WPM medium + 0.1 mg / l 6-BAP

В ходе проведения эксперимента не было выявлено значимого превышения коэффициента мультипликации по сравнению с контролем. В сравнении с другими гормонами цитокинин 6-БАП оказал наибольшее влияние на изменение морфологии микрорастений клона 23 АС.

В присутствии 6-БАП рост микропобегов заметно замедлялся, формировались базальные каллусы, отмечено развитие адвентивных побегов *de novo*. После повторного черенкования регенеранты достигали не более 1 см в длину и имели 1–2 междоузлия. При культивировании микрорастений с использованием более высоких культуральных сосудов с прозрачной крышкой, как и у двух других клонов наблюдалась высокая доля погибших растений (до 60 %). Однако, при более длительном культивировании (в течение 12 недель) оставшиеся микрорастения дали значительный прирост, а коэффициент мультипликации составлял 10–15. Последнее делает перспективным использование названного типа сосудов при определенных условиях.

Сравнение значений коэффициентов мультипликации, полученных для разных клонов, показало, что микрорастения 19 АС и 23 АС реагируют сходным образом на условия культивирования (коэффициент мультипликации нарастал в ряду WPM+6-БАП, QL, WPM, WPM+кинетин или аденин). В случае клона V22 картина была иной. Выявленная закономерность, по нашему мнению, отражает близость физиологических реакций генотипов близкого систематического положения [17].

Полученные укорененные регенеранты осины адаптировали в лаборатории в течение двух месяцев на субстрате из торфа и песка (соотношение 3:1) в климатической камере с туманообразующей установкой при повышенной влажности воздуха (около 90 %). Микроклональные саженцы транспортировали в питомник Кореневской экспериментальной лесной базы Института леса НАН Беларуси и доращивали на протяжении трех месяцев в закрытом грунте тепличного комплекса в индивидуальных пакетах объемом 0,7 л на аналогичном субстрате.

Полученный посадочный материал с закрытой корневой системой использовали для закладки опытных участков в различных лесорастительных условиях на территории Кореневской экспериментальной лесной базы и Гомельского опытного лесхоза для дальнейшего изучения приживаемости и динамики ростовых показателей в лесных культурах.

Заключение. Установлено, что использование питательной среды WPM с добавлением аденина в концентрации 10 мг/л или кинетина в концентрации 0,1 мг/л вызывало повышение среднего коэффициента мультипликации всех включенных в исследование клонов по сравнению с контрольными группами, однако статистически достоверные различия получены только для регенерантов клона 19 АС.

Наиболее выраженное ингибирование линейного роста микропобегов *in vitro* выявлено в случае введения в питательные среды цитокинина 6-бензиламинопурин, вызывавшего комплекс морфофизиологических отклонений у регенерантов, проявлявшихся интенсивным формированием укороченных адвентивных побегов и нарушением ризогенеза.

Показана избирательная чувствительность микроклональных растений осины различных таксонов к минеральному составу питательных сред, наличию в них биологически активных веществ и последействию регуляторов роста.

Литература

1. Jain, S. M. Protocols for Micropropagation of Woody Trees and Fruits / S. M. Jain, H. Häggman. – Springer, 2007 – 478 c.

2. Kozai, T. Environmental control for the large-scale production of plants through in vitro techniques. / T. Kozai, C. Kubota, B.R. Jeong // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 1997. – Vol. 51. – P. 49-56.

3. Winton, L. Plantlets from aspen tissue cultures / L. Winton // Science. – 1968. – Vol. 160. – P. 1234–1235.

4. Катаева, Н. В. Клональное микроразмножение растений / Н. В. Катаева, Р. Г. Бутенко. – Москва: Наука, 1983. – 96 с.

5. Panetsos, K. Propagation *in vitro* of aspen hybrid *Populus spartiatica*×*Populus tremula* from mature trees / K. Panetsos, A. Economou, A. Scaltsoyiannes // Agricultural Research. – 1987. – Vol. 11. – P. 449–459.

6. Бутенко, Р. Г. Биология клеток высших растений in vitro и биотехнологии на их основе / Р. Г. Бутенко. – М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. – 160 с.

7. Cruz-Cruz, C. A. Biotechnology and conservation of plant biodiversity / C. A. Cruz-Cruz, M. T. González-Arnao, F. Engelmann // Resources. – 2013. – Vol. 2. – № 2. – P. 73–95.

8. Ветчинникова, Л. В. Клональное микроразмножение селекционного материала берёзы карельской / Л. В. Ветчинникова // Научные основы селекции древесных растений Севера: сб. науч. ст. / КарНЦ РАН. – Петразаводск, 1998. – С. 73–78.

9. Vinocur, B. Enhanced bud regeneration in aspen (*Populus tremula* L.) roots cultured in liquid media / B. Vinocur, T. Carmi, A. Altman, M. Ziv // Plant Cell Reports. – 2000. – Vol. 19. – № 12. – P. 1146-1154.

10. Катаева, Н. В. Влияние экзогенных регуляторов роста на старение и омоложение побегов *Hedera helix* L. *in vitro* / Н. В. Катаева, Е. А. Попович, Т. В. Корнеева // Физиология растений. 1990. – Т. 37. – Вып. 5. – С. 964–972.

11. Murashige, T. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiol. Plant. – 1962. – Vol.15. – P. 473–497.

12. Smith, M. A. A comparison of source tissue for protoplast isolation from three woody plant species / M. A. Smith, B. H. McCown // Plant Sci. Lett. – 1983. – Vol. 28. – P.149-156.

13. Quoirin, M. Etude de milieux adaptes aux cultures in vitro de Prunus / M. Quoirin, Ph. Lepoivre // Acta. Horticultureae. – 1977. – № 78. – P. 437-442.

14. Gribaudo, I. Vented vessels affect growth rate of in vitro *Vitis vinifera* cv. Nebbiolo / I. Gribaudo, M. Restagno, V. Novello // Acta Horticulturae. – 2003. – Vol. 616. – P. 129–133.

15. Douglas, G. C. Formation of adventitious buds in stem internodes of *Populus* spp. cultivated *in vitro* on basal medium: Influence of endogenous properties of explants // J. Plant Physiol. – 1984. – V. 116. – P. 313–321.

16. Cheong, E. J. The effect of endophytic bacteria on in vitro shoot growth of *Prunus yedoensis* and its identification and elimination / E. J. Cheong, M. Na, U. Jeong // *In Vitro* Cellular & Developmental Biology – Plant. – 2020. – Vol. 56. – P. 200–206.

17. Williams, R. R. Effects of temperature, darkness and gelling agent on long-term storage of *in vitro* shoot cultures of Australian woody plant species / R. R. Williams, A. M. Taji // Plant cell, tissue and organ culture. – 1987. – Vol. 11. – № 2. – P. 151–156.

Поступила в редакцию 04.10.2021 г.

УДК 581.143.6:632.1:58.035

Л. В. ОБУХОВСКАЯ[1], Т. Н. КУДЕЛИНА[1], А. В. КОНСТАНТИНОВ[2]

РОСТ И РАЗВИТИЕ МИКРОКЛОНОВ РЕГЕНЕРАНТОВ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ (*BETULA PENDULA VAR. CARELICA* MERCL.) ИЗ АПИКАЛЬНЫХ И МЕДИАЛЬНЫХ ЧЕРЕНКОВ НА СВЕТУ РАЗНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА

[1]*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: olv_8@mail.ru, 10tan10@mail.ru*

[2]*Институт леса НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, e-mail: avkonstantinof@mail.ru*

Аннотация. Целью исследования было оптимизировать спектр светодиодных облучателей (СДО) для культивирования микроклонально размноженных регенерантов карельской березы из черенков разного происхождения *in* и *ex vitro*. Было установлено, что реакция на свет разного спектрального состава регенерантов карельской березы из черенков разного происхождения (апикальных или медиальных) является сходной в варианте освещения СД2, который характеризовался высоким содержанием красного (КС) и низким синего (СС) и зеленого (ЗС) света в спектре. Вариант освещения, в котором соотношение К/С и К/З в спектре было больше либо равно 1 (СД3) был благоприятным для роста и развития регенерантов как из апикальных, так и медиальных черенков. Регенеранты из апикальных черенков лучше всего росли и развивались на свету варианта СД1.

Ключевые слова: светодиодное освещение, спектральный состав света, рост и развитие, адаптация, микроклональные регенеранты, карельская береза

L. V. OBUKHOVSKAYA1, T. N. KUDELINA1, A. V. KONSTANTINOV2

GROWTH AND DEVELOPMENT OF MICROCLONALLY PROPAGATED REGENERANTS FROM APICAL AND MEDIAL CUTTINGS OF CURLY BIRCH (*BETULA PENDULA VAR. CARELICA* MERCL.) UNDER LIGHT OF DIFFERENT SPECTRAL COMPOSITION

[1]*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: olv_8@mail.ru, 10tan10@mail.ru*

[2]*Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, e-mail: avkonstantinof@mail.ru*

Annotation. The aim of the study was to optimize the spectrum of LED irradiators (LEDs) for the cultivation of microclonally propagated curly birch regenerants from cuttings of different origin *in* and *ex vitro*. It was found that the response to light of different spectral composition of curly birch regenerants from cuttings of different origin (apical or medial) is similar in the SD2 illumination option, which was characterized by a high content of red (R) and low blue (B) and green (G) light in spectrum. The lighting option, in which the R/B and R/G ratio in the spectrum was greater than or equal to 1 (LED3,) was favorable for growth and development of regenerants from both apical and medial cuttings. Regenerants from apical cuttings grew and developed best on light of the LED1 variant.

Keywords: LED lighting, spectral composition of light, growth and development, adaptation, microclonal regenerants, curly birch

Введение. Клональное микроразмножение растений широко применяется в лесных технологиях. Этот метод позволяет за короткое время получить большое количество высококачественного посадочного материала – оздоровленного и обладающего лучшими характеристиками исходного растения. При размножении карельской березы применение этого метода особенно оправдано, т.к. при семенном размножении в лучшем случае около 25 % растений с узорчатой древесиной [1], а при микроклональном размножении можно получить 100 % саженцев с высокоузорчатой древесиной. Большое значение в образовании узорчатой древесины принадлежит свету – в естественных фитоценозах она встречается чаще всего на опушках и вблизи «окон» в древостоях [2, 3]. Это следует учитывать при выборе осветителей для культивирования микроклонально размноженных регенерантов этого растения при разработке технологий круглогодичного получения саженцев. В настоящее время для этого все чаще начинают применять осветители на основе светодиодов, позволяющие создавать свет любого требуемого спектра для точного управления морфофизиологическими реакциями растений [4].

Светом регулируются практически все процессы в растительном организме [5]. Установленным является факт видоспецифичности и даже сортоспецифичности ответной реакции на свет определенного спектрального состава [6-8]. Поэтому изучение особенностей физиолого-биохимических процессов растений, культивируемых с использованием светодиодного (Light Emission Diodes – LED) освещения, является в настоящее время одним из перспективных направлений фундаментальных и прикладных исследований [9].

Большинство исследований проводилось либо с монохромными источниками света – красным (КС) и синим (СС) [10–14], исходя из важности для фотосинтеза, либо с белыми, добавленными теми или иными светодиодами в зависимости от целей исследования [15]. И тогда обсуждалось действие добавленного света в смешанном фотопотоке [16]. При этом спектр освещения чаще всего описывался как белый (%) + СС и / или КС (%). Учитывая, что белый свет характеризуется спектром, включающим всю его видимую область (400–750 нм) плюс некоторое количество ультрафиолетовой и инфракрасной областей, добавление в него отдельных частей (чаще всего красного и синего) будет изменять соотношение фотосинтетически и физиологически значимых частей спектра. Исследованию действия зеленого света (ЗС) на растения в последнее время уделяется все больше внимания, т. к. он признан регуляторным и ведется поиск его рецепторов [17, 18]. Цель исследования заключалась в оптимизации спектра светодиодных облучателей (СДО) для культивирования микроклонально размноженных регенерантов карельской березы *in* и *ex vitro*.

Материалы (объекты) и методы исследования. Объектом исследования были регенеранты карельской березы (*Betula pendula var. carelica* Mercl.) высокоствольного клона 76, полученные из апикальных и медиальных черешков. Регенеранты были любезно предоставлены научно-исследовательским отделом генетики, селекции и биотехнологии Институ-

та леса НАН Беларуси. На последнем пассаже перед мультипликацией материал нарабатывали в термостатированной культуральной комнате при температуре 23±1 °С в условиях постоянного освещения интенсивностью около 3,5 тыс. лк люминесцентными лампами OSRAM L 36 W /765 Daylight («Osram», РФ), с цветовой температурой 6500 К и световым потоком 2500 лм. Регенеранты выращивали *in vitro* на модифицированной безгормональной питательной среде, приготовленной по общепринятой методике [19], включающей макросоли по прописи WPM [20], микроэлементы и витамины по прописи MS [21]; pH среды доводили до значения 5,6–5,8, источником углерода являлась сахароза (30,0 г/л), в качестве уплотнителя использовали микробиологический агар (7,0 г/л).

После двух месяцев выращивания осуществляли микрочеренкование на фрагменты (экспланты), содержащие, по крайней мере, одну почку и субкультивировали по 12 шт. на питательные среды аналогичного состава в стеклянные сосуды объемом 200 мл, накрытые крышками из фольги. Материал по вариантам опыта группировали в зависимости от происхождения, разделяя апикальные и медиальные экспланты. Базальные части регенерантов при черенковании не использовали. Сосуды с растениями переносили на трое суток для культивирования в вышеописанных условиях, а затем под светодиодные осветители (СДО) со светом разного спектрального состава 3 вариантов – СД1, СД2 и СД3 (рис. 1).

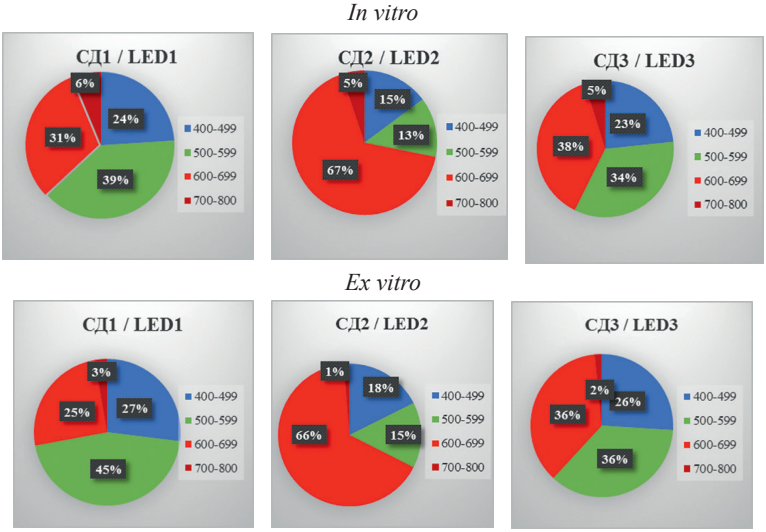


Рис. 1. Характеристики светового потока при освещении *in vitro* и *ex vitro*. СД1, СД2 и СД3 – варианты освещения

Fig. 1. Light flux characteristics during *in vitro* and *ex vitro* illumination. LED1, LED2 and LED3 – illumination options

Через 46 суток регенеранты рассадили *ex vitro* в торфогрунт Терравита универсальный (РФ) в стаканчики объемом 300 мл и в течение 14 дней поддерживали влажность воздуха 100 %, прикрыв растения полиэтиленовой пленкой. Через 10 дней постепенно снижали влажность воздуха до 50–60 % (в течение 3–4 дней). Таким образом, адаптация *ex vitro* продолжалась в среднем 2 недели. Полив растений проводили, подтапливая дно стаканчиков. Температура 20–23 °С, фотопериод 16/8 часов.

Интенсивность ризогенеза и развития *in vitro* регистрировали каждые 3 дня. После периода адаптации регенерантов *ex vitro* каждые 2 недели измеряли высоту растений (см) и диаметр стволика у основания (мм), подсчитывали количество листьев и междоузлий. Через 69 суток растения извлекли из стаканчиков, тщательно отмыли корни от грунта, просушили фильтровальной бумагой, взвешивали, определяли площадь всех листьев у растения по бумажным репликам, отдельно взвешивали корни, листья, стволик и боковые ветви. Затем высушили и определяли содержание сухого вещества. Биологическая повторность составляла от 12 до 24 растений в варианте.

Статистическую обработку полученных экспериментальных результатов выполняли стандартными методами вариационной статистики [22]. Использовали программу «Excel» с доверительным интервалом 0,95 из пакета программ Microsoft Office 2010. Данные приводятся как среднее арифметическое (x) ± ошибка средней величины (Sx). Различия между средними показателями оценивали при уровне значимости (p) не более 0,05.

Таблица 1. Соотношение частей спектра в световом потоке при культивировании *in* и *ex vitro* микроклонально размноженных регенерантов карельской березы

Table 1. Ratio of parts of the spectrum in the light flux during cultivation *in* and *ex vitro* of microclonally propagated Karelian birch regenerants

Части спектра Parts of the spectrum	СД1 LED1	СД2 LED2	СД3 LED3
In vitro			
К/С (R/B)	1,3	4,5	1.6
К/З (R/G)	0,8	5,0	1,1
К/(З+С) (R/(G+B)	0,5	2,4	0,7
С/З (B/G)	0,6	1,1	0,7
К/ДК (R/FR)	4,9	12,9	7,8
Ex vitro			
К/С (R/B)	0,9	3,8	1,4
К/З (R/G)	0,6	4,5	1,0
К/(З+С) (R/(G+B)	0,3	2,0	0,6
С/З (B/G)	0,6	1,2	0,7
К/ДК (R/FR)	9,0	49,6	22,3

Результаты исследования и их обсуждение. В наших экспериментах мы использовали СДО со сплошным спектром, отличающееся соотношением разных частей спектра, руководствуясь тем, что эволюционно растения адаптированы к солнечному свету, область фотосинтетически активной радиации (ФАР) которого содержит свет с длинами волн от 350 до 750 нм. Варианты СД1 и СД3 несколько различались по содержанию ЗС (в СД1 на 5 % больше), КС (в СД1 на 7 % меньше), ДК (в СД1 на 1 % больше). В варианте СД2 было много красного света и мало синего и зеленого (рис. 1, табл.1).

Была отмечена разница в интенсивности ризогенеза у регенерантов карельской березы в первые дни культивирования in vitro под светом разного спектрального состава. Так, первые корни у апикальных регенерантов (А1, А2, А3 соответственно вариантам освещения СД1, СД2 и СД3) появились на 6-е сутки: у А1 – у 100 % растений, у А2 – 75 %, у А3 – 67 %. У регенерантов на 6-е сутки корни появились у М1 (СД1) – у 4 %, у М2 (СД2) – у 38 %, у М3 (СД3) – у 17 % растений. Полностью укоренились все черенки вариантов А2 и А3 на 12 сутки, вариантов М 1 – на 33, М2 – на 19, М3 – на 26 сутки.

Таким образом, большое количество ЗС и СС в спектре снижало интенсивность корнеобразования *in vitro* у регенерантов из медиальных черенков, но не было существенным для апикальных. Большое количество КС (СД2) не оказывало заметного влияния на ризогенез ни у апикальных, ни у медиальных черенков. Более того, к 46 суткам (к рассадке *ex vitro*) и другие биометрические показатели у регенерантов разного происхождения и условий освещения мало отличались друг от друга. Например, самыми высокими были регенеранты вариантов А1 (1,6 ± 0,05 см), А2 (1,9 ± 0,09 см), М2 (1,6 ± 0,07 см) и А3 (1,8 ± 0,10 см). По количеству корней и общей длине корней лидировали растения вариантов А1, А2 и М3, но различия были достоверны лишь между вариантами А1 (12,7 ± 0,99 см) и А3 (7,1 ± 0,80 см) (табл. 2). Регенеранты варианта М2 отличались самыми длинными корнями среди регенерантов из медиальных черенков, а самые короткие корни были в варианте М3. Ранее были получены данные о стимулирующем влиянии на ризогенез дополнительной досветки КС [23], что особенно проявлялось при невысокой интенсивности освещения (1000 лк), но при этом не указывалось, на каких эксплантах был получен этот результат – на апикальных или медиальных. Возможно, это зависит от постановки эксперимента. Так, часто указывается, что к БС был добавлен какой-либо монохромный свет, при этом не отмечается, как изменился спектр освещения и не учитывается изменение соотношения отдельных частей спектра [15].

Развитие регенерантов из черенков разного происхождения, которое оценивали по интенсивности образования листьев, достоверно не отличалось по вариантам (рис. 2, табл. 2).

Через 2 месяца после пересадки регенерантов *ex vitro* (см. Материалы (объекты) и методы исследования) провели измерение биометрических параметров полученных саженцев. Оказалось, что соотношение надземная часть / корень у регенерантов из апикальных черенков всех вариантов освещения практически одинаково – около 2. У регенерантов из медиаль-

ных черенков всех вариантов освещения оно было меньше, чем у регенерантов из апикальных черенков (1,5; 1,3 и 1,6, соответственно) (табл. 3).

Таблица 2. Биометрические параметры регенерантов *Betula pendula var. carelica* к моменту рассадки ex vitro

Table 2. Biometric parameters of *Betula pendula var. carelica* regenerants by the time of ex vitro propagation

Вариант Variant	Происхождение черенка Origin of the cuttings	Высота, см Height, cm	Количество корней, шт. Number of roots, pcs	Суммарная длина корней, см Total length of the roots, cm	Количество листьев, шт. Number of leaves, pcs.	Количество междоузлий, шт. Number of internodes, pcs.
СД1 LED1	A	1,6 ± 0,05	4 ± 0,4	12,7 ± 0,99	5 ± 0,2	4 ± 0,2
	M	1,2 ± 0,07	2 ± 0,2	8,6 ± 0,96	4 ± 0,2	4 ± 0,2
СД2 LED2	A	1,9 ± 0,09	4 ± 0,3	11,8 ± 0,91	5 ± 0,2	4 ± 0,2
	M	1,6 ± 0,07	2 ± 0,2	10,3 ± 0,75	5 ± 0,3	4 ± 0,2
СД3 LED3	A	1,8 ± 0,10	3 ± 0,2	10,1 ± 1,06	5 ± 0,2	4 ± 0,3
	M	1,5 ± 0,05	3 ± 0,2	7,1 ± 0,80	5 ± 0,2	4 ± 0,2

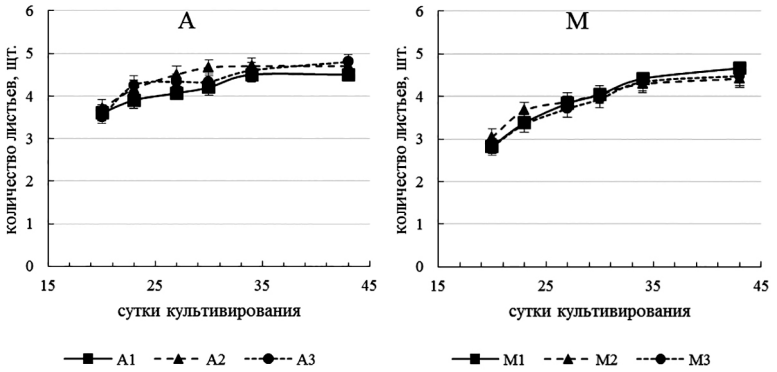


Рис. 2. Динамика образования листьев у микроклональных регенерантов *Betula pendula var. carelica* при культивировании *in vitro* на свету разного спектрального состава.
A1, A2 и A3 – регенеранты из апикальных черенков (A) вариантов освещения СД1, СД2 и СД3, соответственно; M1, M2 и M3 – регенеранты из медиальных черенков (M) вариантов освещения СД1, СД2 и СД3, соответственно.

Fig. 2. Dynamics of leaf formation in microclonal regenerants of *Betula pendula var. carelica* when cultured *in vitro* under light of different spectral composition.
A1, A2 and A3 – regenerants from apical cuttings (A) of the light variants СД1, СД2 and СД3, respectively; M1, M2 and M3 – regenerants from medial cuttings (M) of the light variants СД1, СД2 and СД3, respectively.

Таблица 3. Биометрические параметры регенерантов *Betula pendula var. carelica* через 2 месяца после рассадки *ex vitro* на свету разного спектрального состава

Table 3. Biometric parameters of *Betula pendula var. carelica* regenerants after 2 months *ex vitro* growing under light of different spectral composition

Вариант Variant	Происхождение черенка Origin of the cuttings	Высота, см Height, cm	Количество междоузлий, шт, Number of internodes, pcs.	Диаметр стволика, мм Stem diameter, mm	Общая площадь листьев, дм2 Total leaf area, dm2	Количество боковых ветвей, шт. Number of side branches, pcs.	Вес 1 растения, г Weight of 1 plant, g	Сырой вес листьев, г Crude leaf weight, g	Сырой вес корней, г Crude weight of roots, g
СД1	А	26,1 ± 1,12	22 ± 0,5	4,4 ± 0,12	3,30 ±0,299	6 ± 0,9	10,92 ± 0,777	1,16 ± 0,100	3,83 ± 0,351
	М	10,5 ± 0,75	15 ± 0,4	2,5 ± 0,13	0,85 ± 0,096	3 ± 0,8	3,22 ± ,349	0,32 ± 0,038	1,36 ± 0,164
СД2	А	7,0 ± 0,80	12 ± 0,8	2,0 ± 0,19	0,44 ± 0,109	2 ± 0,7	1,71 ± 0,423	0,17 ± 0,050	0,71 ± 0,198
	М	9,5 ± 0,83	14 ± 0,8	2,6 ± 0,22	0,79 ± 0,104	2 ± 0,3	3,58 ± 0,451	0,41 ± 0,054	1,63 ± 0,203
СД3	А	24,8 ± 1,09	22 ± 0,5	4,1 ±0,19	3,10 ± 0,259	3 ± 1,0	10,57 ±0,774	1,17 ± 0,110	3,97 ± 0,375
	М	18,7 ± 1,43	19 ± 0,8	3,9 ± 0,16	1,99 ± 0,202	6 ± 0,9	7,14 ± 0,631	0,86 ± 0,089	2,75 ± 0,251

У вариантов А1 и А3 достоверных различий по всем параметрам выявлено не было. По всем параметрам отмечено отставание у регенерантов варианта А2 – отсутствие достаточной доли СС и ЗС и высокое содержание КС отрицательно сказались как на росте / приросте, так и на их развитии, тогда как было отмечено [24], что высокое содержание СС способствует формированию компактных растений. Причем на регенерантах варианта М2 это сказалось меньше – они мало отличались от варианта М1. А вот состав спектра СД3 оказался наиболее благоприятным для культивирования регенерантов из медиальных черенков – их высота превосходила растения варианта М1 на 44%, варианта М2 – на 49 %, и была меньше высоты растений варианта А3 на 25 %, а по количеству боковых ветвей даже превосходили их. То есть, регенеранты из медиальных черенков при ППФ освещения 100–110 мкмоль/м^2·с успешно растут и развиваются как при высоких соотношениях отдельных частей спектра (вариант СД2, табл. 1), так и при средних (вариант СД3). Это можно было бы связать с разным уровнем эндогенных гормонов у апикальных и медиальных черенков, если бы не прошло столько времени (116 суток с момента высадки *in vitro* и 69 суток с момента пересадки *ex vitro*). За это время гормональный статус из медиального, скорее всего, изменился на апикальный, т,к. из боковой почки развился нормальный побег с апикальным типом доминирования. Возможно, отставание по биометрическим параметрам у регенерантов из медиальных черенков варианта СД1 от таких же регенерантов варианта СД3 связано с более низким количеством КС в спектре СД1 (25,1 %), и более высоким ЗС (45 %). В то же время следует обратить внимание на то, что корневая система у регенерантов из медиальных черенков в вариантах СД1 и СД2 развита почти одинаково, но почти в 2 раза меньше по сырому весу, чем у варианта СД3 (табл. 3).

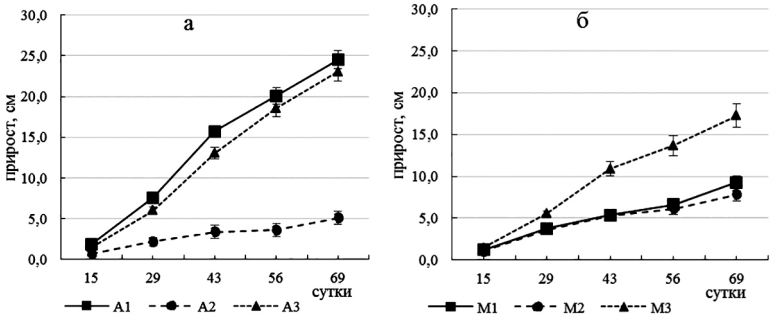


Рис. 3. Динамика прироста саженцев *Betula pendula var. carelica* при культивировании на свету разного спектрального состава ex vitro. А – саженцы из апикальных черенков, М – саженцы из медиальных черенков, СД1, СД2 и СД3 – варианты освещения

Fig 3. Dynamics of growth of *Betula pendula var. carelica* saplings when cultivated under light of different spectral composition. A – saplings from apical cuttings, M – saplings from medial cuttings, LED1, LED2 and LED3 – lighting options

Хорошим показателем состояния растений является прирост в высоту (рис. 3). Самыми высокими приростами отличались регенеранты вариантов А1 и А3, а также М3. Прирост у регенерантов вариантов М1 и М2 был больше, чем у регенерантов варианта А2. Наибольшие темпы прироста были отмечены через месяц после пересадки в торфогрунт, а дальнейшее снижение могло быть связано с необходимостью подкормки.

Саженцы всех вариантов освещения и происхождения были развиты сбалансированно: вес надземной части саженца соответствует весу корневой системы и превосходит его в 1,3–2 раза (рис. 4 и 5).

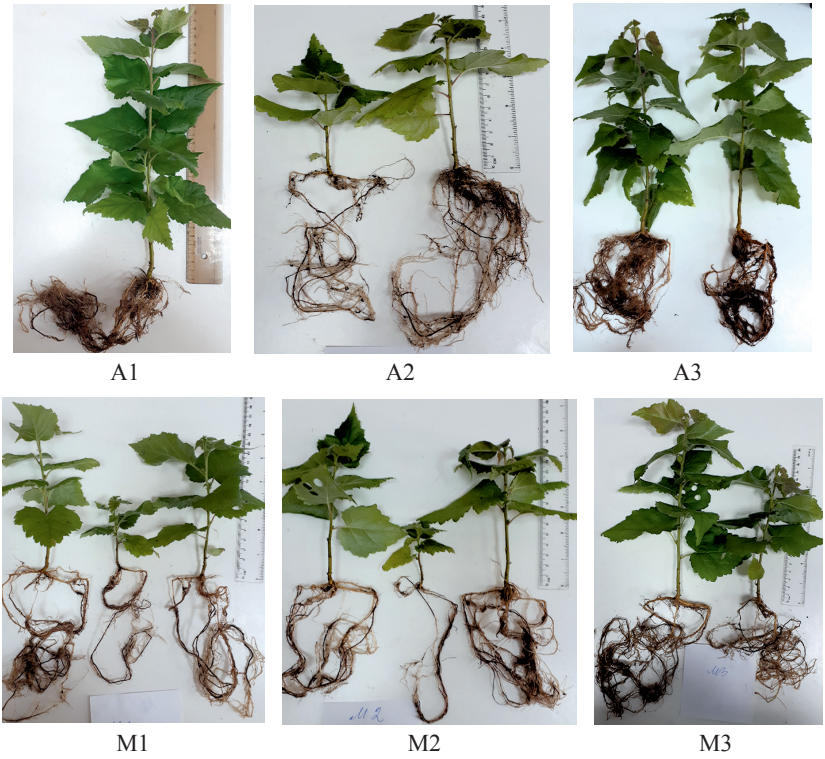


Рис. 4. Саженцы *Betula pendula var. carelica* при культивировании на свету разного спектрального состава *ex vitro.* А – саженцы из апикальных черенков, М – саженцы из медиальных черенков микроклонально размноженных регенерантов

Fig. 4. Saplings of *Betula pendula var. carelica* when cultivated under light of different spectral composition ex vitro. A – saplings from apical cuttings, M – saplings from medial cuttings of microclonally propagated regenerants

При этом процентное распределение веса отдельных органов можно разделить на две группы: 1) А1, А3, М1, М3; 2) А2, М2 (рис.5). Из этого следует, что низкое содержание в спектре СС, ЗС и высокое КС при очень низком содержании ДК приводило к увеличению весовой доли корневой системы и снижению весовой доли листьев, весовая доля стволика была одинаковой. Самой высокой весовая доля стволика была у саженцев вариантов А1, А3 и М3. Также у саженцев этих же вариантов была самая высокая весовая доля листьев.

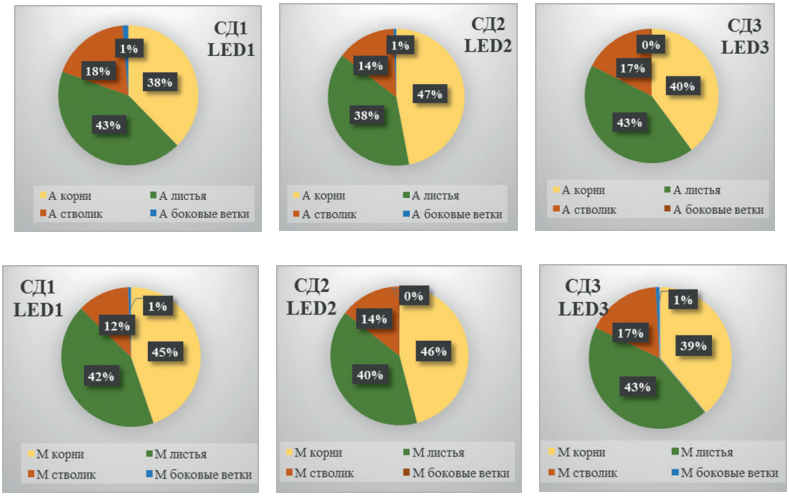


Рис. 5. Процентное соотношение по сырому весу разных органов растений у саженцев *Betula pendula var. carelica* при культивировании на свету разного спектрального состава, А – саженцы из апикальных черенков, М – саженцы из медиальных черенков, СД1, СД2 и СД3 – варианты освещения

Fig. 5. Percentage ratio by crude weight of different plant organs of *Betula pendula var. carelica* saplings when cultivated under light of different spectral composition. A – saplings from apical cuttings, M – saplings from medial cuttings, LED1, LED2 and LED3 – lighting options

Ближе всего процентное соотношение по сырому весу разных органов оказалось у регенерантов вариантов А1, А3 и М3, что можно связать со спектрами освещения, использованными в этих вариантах, причем СД3 оказался лучшим не только для регенерантов из апикальных, но и для медиальных черенков. Для варианта А2 было также характерно снижение доли массы корней, что мы наблюдали и для варианта М1. При этом следует отметить, что спектры СД1 и СД2 очень отличались друг от друга: СД2 содержит меньше почти в 2,2 раза синего и в 4,6 раза ЗС, но в 1,7 раз больше КС (табл. 1).

По содержанию сухого вещества в листьях и корнях саженцы из апикальных черенков достоверно не различались во всех вариантах освещения. Процент сухого вещества у корней и листьев саженцев варианта М1 достоверно был ниже, по сравнению с вариантами М2 и М3 (рис. 6), что свидетельствует о том, что ткани корней и листьев саженцев варианта М1 содержат больше воды, т. е. имеют более рыхлую структуру – больший объем межклетников.

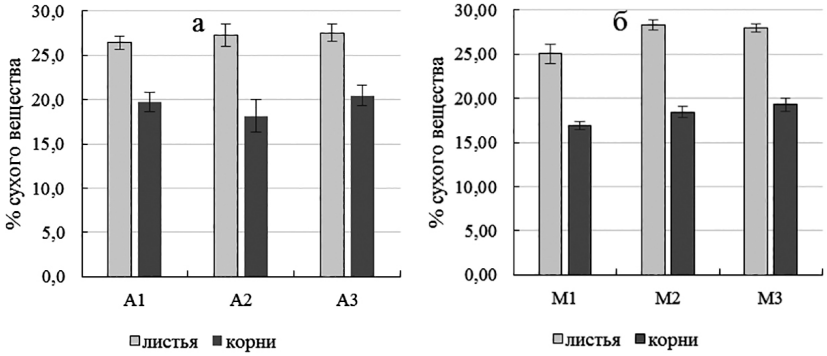


Рис. 6. Содержание сухого вещества в корнях и листьях саженцев *Betula pendula var. carelica* из микроклонально размноженных регенерантов при культивировании на свету разного спектрального состава, А1, А2 и А3 – саженцы из апикальных черенков (а) вариантов освещения СД1, СД2 и СД3, соответственно; М1, М2 и М3 – саженцы из медиальных черенков (б) вариантов освещения СД1, СД2 и СД3, соответственно.

Fig. 6. Dry matter content in roots and leaves of *Betula pendula var. carelica* saplings when cultivated under light of different spectral composition. A1, A2 and A3 – saplings from apical cuttings (a) of lighting options LED1, LED2 and LED3, respectively; M1, M2 and M3 – seedlings from medial cuttings (б) of lighting options LED1, LED2 and LED3, respectively.

Мы отметили, что в варианте А1 листовая пластинка была самой тонкой, хотя общая площадь листьев на 1 растение достоверно не отличалась от площади листьев в варианте А3, что может быть связано с высоким содержанием ЗС в спектре СД1 [17]; листья в варианте М1 имели наибольшую толщину. Листья вариантов А2 и А3 достоверно не отличались по толщине друг от друга, но были несколько толще листьев вариантов М2 и М3 (рис. 7). Т.е. мы получили противоположные эффекты на листьях регенерантов из черенков разного происхождения на свет одинаковых спектров, которые еще предстоит исследовать более детально на физиологическом уровне.

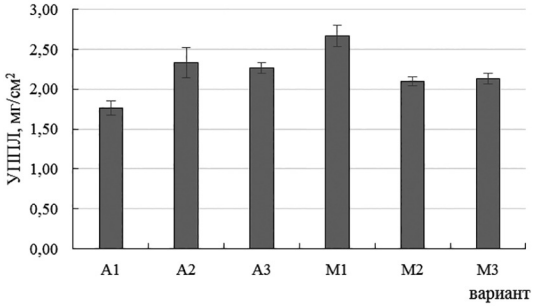


Рис. 7. Удельная поверхностная плотности листьев у саженцев *Betula pendula var. carelica* при культивировании на свету разного спектрального состава. А1, А2 и А3 – саженцы из апикальных черенков вариантов освещения СД1, СД2 и СД3, соответственно; М1, М2 и М3 – саженцы из медиальных черенков вариантов освещения СД1, СД2 и СД3, соответственно.

Fig. 7. Specific surface density of leaves of *Betula pendula var. carelica* saplings when grown under light of different spectral composition, A1, A2 and A3 – saplings from apical cuttings (a) lighting options LED1, LED2 and LED3, respectively; M1, M2 and M3 – saplings from medial cuttings of lighting options LED1, LED2 and LED3, respectively.

Заключение. Таким образом, установлено, что реакция на свет разного спектрального состава у микроклонально размноженных регенерантов карельской березы из черенков разного происхождения (апикальных или медиальных) является сходной в варианте освещения СД2, который характеризовался высоким содержание КС и низким СС и ЗС в спектре. Вариант освещения, в котором соотношение К/С и К/З в спектре было больше либо равно 1 (СД3) был благоприятным для роста и развития регенерантов как из апикальных, так и медиальных черенков. Регенеранты из апикальных черенков лучше всего росли и развивались на свету варианта СД1.

Данные были получены на регенерантах высокоствольной формы карельской березы (клон 76). Поскольку уже установлено, что реакция растений на свет разного спектрального состава может быть не только видоспецифичной, но и сортоспецифичной [6], исследования подобного плана позволяют установить условия освещения, наиболее благоприятные для выращивания того или иного клона. В случае карельской березы – определить условия, в которых будет формироваться наиболее узорчатая древесина, а возможно, понять механизм формирования такой древесины.

Благодарности. Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма «Биоразнообразие, биоресурсы, экология».

Литература

1. Ветчинникова, Л. В. Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство / Л. В. Ветчинникова, А. Ф. Титов, Т. Ю. Кузнецова. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. – 312 с.

2. Побирушко, В. Ф. Эколого-биологические особенности и внутривидовая изменчивость некоторых видов рода Betula L. на границах ареалов (в условиях Беларуси) : автореф. дисс. … канд. биол. наук : 03.00.05 / В. Ф. Побирушко ; Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси. – Минск, 1992. – 25 с.

3. Барсукова, Т. Л. Изменчивость, отбор и разведение березы карельской в Беларуси : автореф. дисс. … канд. сельсхоз. наук : 06.03.01 / Т. Л. Барсукова ; Институт леса НАН Беларуси. – Гомель, 1995. – 20 с.

4. Gupta, S. D. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis : Review / S. D. Gupta, B. Jatothu // Plant Biotechnol. Rep. – 2013. – Vol. 7, № 3. – P. 211–220.

5. Neff, M. M. Light: an indicator of time and place / M. M. Neff, C. Fankhauser, J. Chory // Genes and Develop. – 2000. – Vol. 14. – P. 257– 271.

6. Larsen, D. Response of basil growth and morphology to light intensity and spectrum in a vertical farm / D. Larsen [et al.] // Front. Plant Sci. – 2020. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.597906

7. Kim, H. H. Evaluation of lettuce growth using supplemental green light with red and blue light-emitting diodes in a controlled environment / H. H. Kim [et al.] // Acta Hortic. – Vol. 711_11. – P. 111–119.

8. Colonna, E. Nutritional quality of ten leafy vegetables harvested at two light intensities / E. Colonna [et al.] // Food Chem. – 2016. – Vol. 199. – P. 702–710.

9. Xu, Y. The research on LED supplementary lighting system for plants / Y. Xu [et al.] // Optik. – 2016. – Vol. 127, No 18. – P. 7193–7201.

10. Воскресенская, Н. П. Фотосинтез и спектральный состав света. – М.: Наука, 1965. – 312 с.

11. Воскресенская, Н. П. Фоторегуляторные аспекты метаболизма растений. 38-е ежегодное Тимирязевское чтение / Отв. ред. А. JI. Курсанов. – М.: Наука. – 1979. – 47 с.

12. Murad, M. Light Emitting Diodes (LEDs) as Agricultural Lighting: Impact and Its Potential on Improving Physiology, Flowering, and Secondary Metabolites of Crops / M. Murad // Sustainability. – 2021. https://doi.org/10.3390/su13041985

13. Landi, M. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review / M. Landi [et al.] // BBA – Bioenergetics 1861 (2020) 148131. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2019.148131

14. Belous, O. G. Effect of spectral composition of light on growth of C*hryzantemum morifolium in vitro* / O. G. Belous, V. I. Maljarovskaja, T. M. Kolomijez // Nauka i Studia: Przemyśl. – 2012. – №. 10. – P. 30–35.

15. Bello-Bello, J. Light-Emitting Diodes: Progress in Plant Micropropagaion J. Bello-Bello [et al.]. – 2017 http:dx.doi.org/10.57721/67913.

16. Ракитин, А. В. Действие красного света в смешанном светопотоке на продукционный процесс : дис. … канд. биол. наук : 03.00.05 / А. В. Ракитин. – Томск, 2001. – 126 с.

17. Головацкая, И. Ф. Регуляторная роль зеленого света в морфогенезе и гормональном статусе растений : автореф. дисс. … д-ра. биол. наук : 03.00.12 / И. Ф. Головацкая ; Томский государственный университет. – Томск, 2009. – 45 с.

18. Goggin, D. E. Blue and green are frequently seen: resposes of seeds to short- and midwavelength light / D. E. Goggin, K. J. Steadman // Seed Science Research. – 2012. – Vol. 22. – P. 27–35.

19. Бутенко, Р. Г. Биология клеток высших растений in vitro и биотехнологии на их основе / Р. Г. Бутенко. – М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. – 160 с.

20. Lloyd, G. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia* by use of shoot-tip culture / G. Lloyd, B. McCown // Proc. Inter. Plant Prop, 1980. – Vol. 30. – P. 421–427.

21. Murashige, T. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures / T. Murashige, F. Skoog // Physiologia plantarum – 1962. – Vol. 15, № 4. – P. 473–497.

22. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Выш. шк., 1973. – 320 с.

23. Соловых, Н. В. Стимуляция ризогенеза красной и чёрной малин *in vitro* с использованием когерентного излучения / Н. В. Соловых, А. В. Будаговский // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Том 66. – № 5. – С. 64–68.

24. Islam, M. A. Artificial light from light emitting diodes (LEDs) with a high portion of blue light results in shorter poinsettias compared to high pressure sodium (HPS) lamps / M. A. Islam [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2012. – Vol. 147. – № 12. – P. 136–143.

Поступила в редакцию 19.10.2021 г.

УДК 635.9:582.675.1:581.192.2

В. Н. ПРОХОРОВ

ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА НИГЕЛЛА (*NIGELLA* L.) – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫЕ КУЛЬТУРЫ (ОБЗОР)

Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: prohoroff1960@mail.ru

Аннотация. Среди малораспространенных ценных хозяйственно полезных видов растений в последнее время большой интерес представляет нигелла (*Nigella* L.). Это одна из самых известных пряно-ароматических культур в странах Средиземноморья и Средней Азии, обладающей широким спектром биологически активных соединений и уникальными лекарственными свойствами. В статье дан краткий обзор пищевых, лекарственных и других хозяйственно-полезных свойств. Показано, что возделывание этой культуры предоставит возможность расширить ассортимент нетрадиционных растений и будет перспективным возобновляемым источником ценного растительного сырья, который найдет применение в различных областях: в сельском хозяйстве, в пищевой, фармацевтической, парфюмерной и косметологической промышленности, а также в декоративном садоводстве.

Ключевые слова: нигелла посевная, нигелла дамасская, химический состав, фармакологические свойства, биология развития

V. N. PROKHOROV

NIGELLA (*NIGELLA* L.) AS PROSPECTIVE ECONOMICALLY USEFUL CULTURE (REVIEW)

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: prohoroff1960@mail.ru

Annotation. Among the less widespread valuable economically useful plant species, *Nigella* L. is of great interest in recent years. It is one of the most famous spicy-aromatic crops in the Mediterranean and Central Asia, possessing a wide range of biologically active compounds and unique medicinal properties. The article provides a brief overview of food, medicinal and other economically useful properties. It is shown that the cultivation of this culture will provide an opportunity to expand the range of non-traditional plants and be a promising renewable source of valuable plant raw materials, which will find application in various fields: in agriculture, in the food, pharmaceutical, perfumery and cosmetic industries, as well as in ornamental gardening.

Keywords: sowing nigella, damascus nigella, chemical composition, pharmacological properties, developmental biology

Введение. В последнее время значительно ускорилось глобальное изменение климата, что открыло перед человечеством возможность увеличения биологического разнообразия возделываемых сельскохозяйственных культур, путем интродукции теплолюбивых культур в более

северных широтах. Среди большого спектра перспективных новых и малораспространенных культур важное место занимает нигелла (чернушка, черный тмин), родиной которой является Средиземноморье. Это широко известное в южных станах с библейских времен лекарственное пряно-ароматические растение, которое характеризуется не только высоким содержанием биологически активных соединений, но и способностью выводить из организма человека радионуклиды и соли тяжелых металлов [2]. В настоящее время его уникальные полезные для человека свойства широко изучаются во всем мире [2].

В мировой практике находят использование в основном растения четырех видов: *Nigella damascena* L. (чернушка дамасская) – растет в Европейской части и на Кавказе и возделывается в небольших количествах (рис. 1, А), *N. sativa* L. (ч. посевная) в настоящее время наиболее распространена благодаря широкому культивированию в разных странах (рис. 1, Б), *N. indica* (чернушка индийская) произрастает в Индии, Афганистане, Пакистане, *N. grandulifera* (чернушка железистая) встречается в Туркменистане и в западных районах Китая. Наибольшее практическое применение в настоящее время получили чернушка посевная и чернушка дамасская.



А Б

Рисунок. Цветки нигеллы дамасской (А) и нигеллы посевной (Б)

Род Чернушка (*Nigella*) принадлежит к семейству лютиковых (Ranunculaceae), включает около 25 видов, распространенных в Западной Европе, Северной Африке и Западной Азии. На территории России и сопредельных стран встречаются 10–11 видов. В Украине произрастает около 10 видов в степях, на сорных местах, в посевах. В Беларуси как заносное растение изредка встречается нигелла полевая (*Nigella arvensis* L.) [3].

Одна из самых известных и популярных восточных пряностей, чернушка имеет много других названий. Название черный тмин нигелле дали португальские и турецкие купцы, а изначально эту культуру называли зира [4, 5]. В мусульманских странах ее также чаще называют черным тмином или черными семенами. В России растения нигеллы называют

чернушкой. Во многих англоязычных странах различные виды чернушек называют Love-in-mist, что в буквальном переводе означает «любовь в тумане». В англоязычных научных источниках ее называют Black Seed.

История применения масла черного тмина в народной медицине стран Азии, Африки, Средиземноморья и Ближнего Востока насчитывает более 3000 лет. Небольшие сосуды с маслом чернушки посевной были обнаружены в гробнице египетского фараона Тутанхамона. Входила в ассортимент лекарственных трав в монастырских садах средневековой Европы. Так, по приказу короля франков, первого императора Священной Римской империи Карла Великого (768–814 гг.), а позднее короля Франции Людовика IX Святого (1226–1270 гг.) монахи в монастырских садах и крестьяне в Европе должны были на своих участках выращивать «черный тмин» как ценное лекарственное и пряное растение. В мусульманской религии нигелла считается растением Пророка Мухаммеда, который назвал её «средством от всех болезней» – и сказал: «Использовать черный тмин без сомнения, это лекарство от всех болезней кроме смерти» [6, 7]. Древние травники считали его «травой с небес» [8].

Нигелла посевная широко возделывается в основном в южном полушарии. Основные районы возделывания: Индия, Китай, Саудовская Аравия, Турция, Иран, Ирак, Пакистан, Египет, Тунис, Нигер, Марокко, Судан, Эфиопия, Средняя Азия, Кавказ и Закавказье, Испания, США. В России в большом количестве возделывается в южных районах (Дагестане и Ставропольском крае). Основной экспортер семян нигеллы на мировом рынке - Индия, где она выращивается на площади около 9000 га при производстве 7000–8000 тонн [9]. В странах Средиземноморья нигелла рассматривается как высокорентабельная культура в органическом земледелии. Культивируют, главным образом, для получения семян, которые впоследствии используются для получения растительного масла. Находит применение в качестве эфирномасличного, пряно-ароматического и лекарственного растительного сырья в пищевой (хлебобулочной, кондитерской, мясной, рыбной), парфюмерно-косметической и фармацевтической промышленности, а также в сельском хозяйстве (в виде кормовых добавок в животноводстве, птицеводстве и рыбоводстве, а также в ветеринарии) и декоративном садоводстве [10,11]. Медонос [12].

Ботаническое описание, биологические особенности

Нигелла относится к семейству лютиковые (Ranunculaceae Juss.) – это однолетнее травянистое растение светло-зеленого цвета с прямым ветвистым стеблем, высотой 20–80 см. Корневая система стержневая. Листья очередные, у нигеллы посевной длиной 2–3 см, у нигеллы дамасской 6–10 см, дважды-трижды перисторассечённые на короткие, линейные, расходящиеся доли. Цветки одиночные, крупные, диаметром до 4 см, синего, голубого, розового или белого цвета. Цветение наступает через 50–60 дней после посева и начинается с верхнего терминального цветка главного стебля и характеризуется растянутостью периода, так на одной особи могут быть цветки, находящиеся на разных стадиях: бутонизации,

цветения, образования плодов. Один цветок цветет в среднем 9–10 дней, растение 20–25 дней [13]. Плод нигеллы – многолистовка, состоящая из трёх-семи листовок, каждая из которых содержит многочисленные семена. Семена чернушки посевной и дамасской яйцевидной формы, сплюснутые, трех- реже четырехгранные, заостренные с одной стороны. Поверхность семян голая, слегка поперечно-морщинистая, между гранями зернистая, матовая. Плоды созревают в августе – октябре, в зависимости от зоны возделывания. Продолжительность плодоношения 45–50 дней. Всхожесть семян в течение первого года 98–99 %, но уже после двух лет хранения она снижается до 17 % и остается на этом уровне 5–7 лет [14]. Хорошо развитое растение образует до 200 и более семян [15]. Масса 1000 семян в среднем – 2,6–2,8 г (максимальная 3,6 г и более) [16, 17].

Нигелла относится к тепло- и светолюбивым, засухоустойчивым растениям с продолжительным периодом вегетации. Снижение освещенности до 50 % не влияет на рост растений и не снижает урожайность семян. Однако затенение до 75 % продлевает вегетационный период, уменьшает толщину листьев и сухую массу растений. Чем выше уровень затенения, тем больше высота растения, площадь листа, количество листьев и количество цветов, но не количество ветвей. Оптимальная температура развития растений составляет 24 °С [18,19]. К условиям произрастания растение не требовательно, но отзывчиво на удобрения. Лучшие почвы - рыхлые, умеренно увлажнённые, чистые от сорняков, с кислотностью близкой к нейтральной. Не пригодны – заболоченные, кислые и засоленные. Азотные удобрения в дозе 60 кг/га увеличивают количество цветущих цветов и количество коробочек [20].

Максимальный урожай семян (0,71 т/га) и выход эфирного масла (8,66 %) нигеллы посевной в Иране получен при обработке растений на фазах удлинения стебля и начале цветения нанокомпозициями, содержащими Fe + Zn + Mn [21]. В Турции максимальные урожаи семян (1,41 т/га) и масла получают на орошаемых землях [22]. На южных мицеллярно-карбонатных черноземах в предгорной зоне Крыма урожайность чернушки дамасской, высеянной широкорядным способом с междурядьями 70 см, варьировала по годам в зависимости от сроков посева от 0,15 до 0,66 т/га [23].

Химический состав

Установлено, что многочисленные фармакологические эффекты нигеллы находятся в тесной корреляции с большим разнообразием в семенах нигеллы биологически активных соединений (более 100 соединений) [24, 25]. В состав семян нигеллы посевной входят жиры (до 53 %), белки (16–28,3 %), углеводы (24,9–33,9 %), эфирные масла (до 1,4–1,9 %) [26, 27] и другие классы соединений.

Жирное масло, получаемое методом холодного прессования, состоит преимущественно из ненасыщенных жирных кислот (до 85 % и более): в основном линолевой *омега-6* (50–60 %), олеиновой *омега-9* (до 24 %), эйкозадиеновой *омега-6* (3 %), арахидоновой *омега-6* [11, 26]. На долю линолевой и олеиновой кислот приходится 77,0–80,0 % от суммарного

содержания жирных кислот у нигеллы дамасской и 80–81,2 % у нигеллы посевной [10]. Насыщенные жирные кислоты (пальмитиновая (14,7 %), стеариновая, миристиновая) составляют менее 30 % [28].

Содержащиеся в масле черного тмина незаменимые *Омега-6* и *Омега-9* жирные кислоты способствуют улучшению работы сердечно-сосудистой, нервной и пищеварительной систем, восстановлению нормального гормонального баланса и нормализации липидного обмена, препятствуют развитию воспалительных процессов, а также благотворно воздействуют на кожу, играют важную роль в укреплении иммунитета и очищении организма человека от всевозможных вредных веществ.

Эфирное масло содержит: р-цимен (7–41,8 %), тимохинон (10,3–57 %), тимогидрохинон, дитимохинон, этил-линолеат (9,4 %), а-пинен (9,3%), а-туйен 5,6–13,9 %), этилолеат (2,7 %), β-пинен (2,2–2,96 %), лимонен (1,6–2,11 %), карвакрол (2,85–12 %), камфен (0,06 %), лонгифолен (1–8 %), 4-терпинеол (2–7 %), t-анетол (0,25–4 %), сабинен (1,18–1,50 %), 4,5-эпокси-1-изопропил-4-метил-1-циклогексен (1,80 %), 4-терпинеол (1,22 %) и др. [26, 29].

В семенах содержатся (мг/кг) рутин – 218–292, хлорогеновая кислота – 16–82, кофейная кислота – 168–196, галловая кислота – 10–37, протокатеховая – 34–49. Сумма фенольных соединений составляет 488–605 мг/кг. Также содержатся органические кислоты (мг/кг): яблочная – 0,389–0,778, янтарная – 0,039–0,058, лимонная – 0,078–0,098, молочная – 0,114–0,161, аскорбиновая – 51,0–55,0, оротовая – 6,8–11,1. Сумма органических кислот составляет 61,82–63,78 мг/кг [11, 30].

В состав семян чернушки посевной входят макроэлементы (натрий, калий, магний и кальций) и микроэлементы (медь, цинк, железо и марганец). Содержание макро- и микроэлементов (мг/кг) составляет: К – 2736–4621, Na – 284–467, Mg – 303–948, Ca – 876–1714, Cu – 30–94, Zn – 180–776, Fe – 11–150, Mn – 10–17. В семенах обнаружены витамины (витамин А, тиамин, рибофлавин, пиридоксин, ниацин, фолиевая и аскорбиновая кислоты).

Семена содержат также два разных типа алкалоидов: т.е. изохинолиновые алкалоиды, например, нигеллицимин и нигеллицимин-N-оксид и пиразоловые алкалоиды или индазольные кольцевые алкалоиды, которые включают нигеллидин и нигеллицин. Кроме того, семена нигеллы посевной также содержат альфа-гедерин, водорастворимый пентациклический тритерпен и сапонин [30, 31].

Корни и побеги содержат ванильную кислоту [30]. В листьях нигеллы посевной находится до 0,43 % аскорбиновой кислоты [32].

Установлено, что большинство терапевтических свойств растения обусловлены наличием тимохинона [33].

Фармакологические свойства и применение в медицине

Фармакологические свойства. Основные фармакологические исследования проведены в известных научно-исследовательских центрах Египта, Турции, Саудовской Аравии, Ирана, Пакистана, Индии, Израиля, США,

которые подтвердили уникальные целебные свойства нигеллы. Установлено, что семена и получаемое из них масло обладают многочисленными фармакологическими свойствами, среди которых: анальгетическое, антиатеросклеротическое, антигиперлипидемическое, антигрибковое, антидепрессантное, антидиабетическое, антиоксидантное, болеутоляющее, бронхолитическое, гастропротекторное, гепатопротекторное, гипотензивное, глистогонное, желчегонное, иммуномодулирующее, кровоостанавливающее, легочно-защитное, мочегонное, нейропротекторное, нефропротективное, обезболивающее, противоаллергическое, противоастматическое, противовоспалительное, противогельминтное, противоопухолевое, репаративное, слабительное, снотворное, спазмолитическое, тонизирующее [34–36].

Масло черного тмина является источником эфирных масел и полиненасыщенных жирных кислот, которые в организме оказывают следующее действие: защищают клетки от повреждений, улучшают метаболизм клеток мозга, оказывает стимулирующее воздействие на костный мозг, нормализуют вязкость крови и другие ее показатели.

Применение в медицине. Нигелла превосходит по эффективности другие растительные средства при лечении аутоиммунных заболеваний, установлен мощный положительный эффект порошка *Nigella sativa* в улучшении состояния щитовидной железы, стимулирует выработку природного интерферона [37].

Выводит из организма человека радионуклиды, соли тяжелых металлов и различные токсины [1], стимулирует тимус и укрепляет иммунитет. Стимулирует лактацию у кормящих матерей.

Препараты нигеллы эффективны при лечении опиоидной и никотиновой зависимости [36].

Нигелла посевная эффективна для профилактики и лечения почечных заболеваний, включая почечнокаменную болезнь и повреждения почек (масло защищает ткань почек от влияния свободных радикалов кислорода, предотвращая нарушения функции почек и их морфологические отклонения) [38]. Положительно влияет на деятельность печеночных ферментов. Эффективна при лечении гепатита С.

Имеет мощный антигистаминный эффект, эффективно воздействует при лечении аллергии на пыльцу и пыль и различных аллергических заболеваний (бронхиальная астма, нейродермит), а также пищевых аллергических реакций. Расширяет просвет бронхов.

Снижает риск атеросклероза путем уменьшения уровня липопротеидов низкой плотности и повышения липопротеидов высокой плотности. Эффективна при гипертонии.

Оказывает лечебное и защитное действие при сахарном диабете, уменьшая морфологические изменения и сохраняя целостность поджелудочной железы [36, 39]. Нормализует уровень сахара в крови пациентов преклонного возраста [40, 41].

Обладает защитными эффектами против нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, Паркинсона, рассеянный скле-

роз, а также при черепно-мозговых травмах [42, 43]. Антиконвульсант, антидепрессант, анксиолитик, антиишемик, анальгетик, антипсихотик и усилитель памяти.

Эффективна при раке крови, молочной железы, толстой кишки, поджелудочной железы, печени, почек, легких, кожи, простаты, шейки матки, фибросаркоме. Содержание жизненно важных Т-лимфоцитов, Т-киллеров и клеток, отвечающих за усиление и укрепление защитных сил организма, при употреблении семян и масла нигеллы увеличивается в несколько раз [44, 45]. Предотвращает побочные действия химических препаратов при лечении онкологических заболеваний. Ученые Раково-Иммунной Биологической лаборатории Южной Калифорнии (США) официально подтвердили, что масло нигеллы является эффективным средством лечения и предотвращения развития раковых опухолей [46].

Оказывает эффективное действие при акантамебном кератите, разрушительной болезненной инфекции роговицы глаз, которая может привести к потере зрения [47].

Наружное применение масла проявляет антибактериальное, микосептическое, антивирусное, противовоспалительное, тонизирующее действие на кожу. Жирное масло *Nigella damascena* стимулирует репаративную регенерацию кожи при ее термическом повреждении и по эффективности действия превосходит облепиховое масло [48]. Улучшает питание волос, предотвращая появление преждевременной седины и выпадение волос.

Эффективно действует против устойчивых к действию препаратов микроорганизмов. По силе антибактериального действия превосходит ампициллин, гентамицин, тетрациклин, котримокзазол, налидиксовую кислоту [30] и, следовательно, может использоваться в качестве антибиотика. Исследования, проведенные в Малайзии, показали, что масло чернушки посевной является мощным ингибитором метициллин-резистентного золотистого стафилококка (MRSA), который является сильным патогеном, вызывающим заболевания во всем мире [49]. Семена чернушки могут быть многообещающим ингибитором с повышенной активностью против бактерии из рода *Serratia marcescens*, опасных возбудителей диарейных заболеваний, инфекций мочевыводящих путей, менингита, артрита, сепсиса [50]. Эфирное масло нигеллы дамасской эффективно против палочки Коха (*Mycobacterium tuberculosis*) [51]. Экстракты из растений нигеллы посевной могут быть использованы в качестве антималярийного средства [52]. Особый интерес вызывают последние исследования ряда ученых [53, 54], показывающих большую перспективность нигеллы посевной в профилактике и лечении COVID-19, что еще раз подтверждает уникальность этого растения.

Семена чернушки имеют огромное значение при производстве различных лекарственных препаратов [55]. Препараты на основе чернушки и масло малотоксичны, и в малых дозах побочных действий не оказывают [36]. В настоящее время семена чернушки посевной используются в странах Ближнего Востока, а также во Франции, Германии, Италии, Великобритании, США в качестве сырья для получения лекарственных

препаратов. Из семян чернушки дамасской получают ферментный препарат нигедазу, используемый при лечении болезней органов пищеварения (панкреатит, хронический гастрит, энтероколит и др.).

Применение нигеллы в других областях

Отходы, образующиеся после переработки семян нигеллы посевной - экологически чистый и недорогой сорбент для сорбции свинца, кобальта, меди и никеля из сточных вод [56, 57]. Отмечается большая перспективность использования экстрактов из чернушки в нанобиотехнологии [58, 59]. В настоящее время разработаны технологии очистки воды с использованием наногибридного композита Fe2O3-SnO_2 / BC, полученного путем включения бинарного оксида железа и олова в целлюлозный каркас порошка из семян нигеллы посевной [60]. Благодаря своим уникальным физико-химическим характеристикам, антибактериальные свойства композитов на основе биопленки из нигеллы посевной являются перспективным экологичным и высококачественным материалом для очистки воды [61]. Обезжиренные отходы жмыха, полученные из семян нигеллы посевной, перспективны для получения биоразлагаемой пленки для упаковки пищевых продуктов и листов для мульчирования [62]. Семена и масло чернушки снижают токсичное действие алюминия на организм человека [63].

Добавление семян нигеллы посевной как пищевой добавки в корм кур-несушек (10–15 г/сутки) снижает содержание холестерина в куриных яйцах [64, 65].

Семена и масло нигеллы в качестве иммуномодулятора растительного происхождения применяются в рыбоводстве Турции и Бангладеш для повышения выживаемости и жизнеустойчивости обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*), радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и других видов рыб [66]. В Индии добавление в корм радужной форели черного тмина способствует сохранению качества рыбной продукции при хранении [67].

Семена нигеллы обладают инсектицидными свойствами, а содержащиеся в них линолевая и олеиновая кислоты имеют отпугивающий насекомых запах, что позволяет рассматривать этот вид как перспективный в создании экологически чистых репеллентов нового поколения. Масло и экстракт в Иране используются в качестве альтернативных экологически безопасных заменителей сильнодействующих фунгицидов при хранении яблок, снижая поражение плодов гнилями в течение 6 месяцев [68].

Чернушку дамасскую применяют в декоративном садоводстве при создании мавританских газонов, на переднем плане миксбордеров, бордюрах, рабатках, вазонах. Цветы после срезки долго сохраняют свежий вид в вазах с водой. В культуре с 1542 г. выращивают в основном махровые сорта [13]. Существует большое количество сортов с разнообразной цветовой гаммой: белого, малинового, синего, голубого цветов.

Кулинарное применение семян чернушки посевной очень разнообразно, особенно это характерно для индийской кухни. Используется для

приготовления традиционного индийского соуса чатни. Придает пикантность и остроту мясным или рыбным блюдам, улучшает вкус чечевицы и овощных. Семена добавляют в хлеб и выпечку, ароматизируют желе, муссы и мороженое. В Индии семена для улучшения аромата и вкуса часто обжаривают в горчичном масле. В арабской кухне семена широко используются для консервирования, а также в блюдах из мяса, рыбы, птицы. На Среднем Востоке (особенно в Турции) применяют при выпечке хлеба и лепешек, посыпая их семенами, как маковым семенем. В Киргизии чернушкой ароматизируют лепешки и чай, в Узбекистане – холодный суп с молозивом. В европейской кухне семена нигеллы используются, прежде всего, в хлебобулочных и кондитерских изделиях, а также в компотах, киселях, желе [26, 69]. В США масло нигеллы посевной добавляют к брауни – американской шоколадной выпечке [70]. В Индии применяют вместе с пажитником в чатни (хлеб из пшеничной муки) для снижения избыточного веса [71]. В Сардинии (Италия) считают, что это растение придает особый вкус сардине – рыбе, от которой пошло название их родного острова. В России ее семена как заменитель черного перца использовали при квашении капусты, солении огурцов и арбузов, а также добавляли в выпечке для ароматизации сдобных булочек, хлебцев, кренделей и др. Листья в течение всего вегетационного периода можно употреблять в пищу, добавлять в различные салаты с базиликом, петрушкой, кориандром, укропом. Жирное масло из семян нигеллы является наиболее ценным продуктом комплексной переработки и представляет наибольший интерес для использования в масложировой пищевой промышленности. Жмых из семян нигеллы посевной получают путем холодного отжима масла из семян без использования растворителей, благодаря чему в нем остается много масла (до 10–15 %) [6]. В гранулированном шроте содержится 21,3 % сырого жира с коэффициентом перевариваемости 88, БЭВ – 30,9, переваримого протеина 135,7 г/кг [72].

Учеными из Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова была разработана технология производства халяльного паштета из печени индейки методом обогащения маслом нигеллы. Продукт может быть рекомендован для употребления в пищу подросткам, беременным женщинам, людям, страдающим заболеваниями сердечно-сосудистой системы и людям пожилого возраста [73]. Известная швейцарская компания *Nestlé* оформила патент на использование чернушки в экологически чистых продуктах бренда детского питания *NaturNes* для улучшения усвояемости и снижения частоты аллергических пищевых реакций [74]. Выпускаются микрокапсулы, содержащие экстракт нигеллы посевной, которые используются в качестве профилактического антиоксиданта.

Семена чернушки посевной обладают сильным пряно-перечным ароматом. Чернушка дамасская отличается сильным ароматом земляники, но в пищевой промышленности из-за горечи ее семена не используют [75]. Семена растирают только перед употреблением, в противном случае у них очень быстро пропадает аромат. Масло чёрного тмина (Black seed

oil) представляет собой маслянистую жидкость светло-жёлтого цвета с острым пряным запахом, с кислотным числом 1,5, числом омыления 151, эфирным числом 150, йодным числом 84 [76].

Заключение. Таким образом, вышесказанное указывает на большую перспективность возделывания нигеллы в условиях умеренной зоны как пряно-ароматической культуры с большим спектром уникальных лекарственных свойств. Она найдет широкое применение в различных областях: в сельском хозяйстве, в пищевой, фармацевтической, парфюмерной и косметологической промышленности, в декоративном садоводстве.

Литература

1. Скорина, В. В. Пряно-ароматические и эфирномасличные культуры: учебное пособие / В. В. Скорина, В. Н. Прохоров. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.
2. Majeed A. *Nigella sativa* L.: Uses in traditional and contemporary medicines – An overview / A. Majeed, Z. Muhammad, H. Ahmad, H. Rehmanullah, S. S. Sayed, N. Inayat, S.Siyyar // Acta Ecologica Sinica. - 2019; DOI: 10.1016/j.chnaes.2020.02.001.
3. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова, Минск.: Дизайн ПРО, 1999. – С.47.
4. Datta A.K. Black cumin (*Nigella sativa* L.) – a review. / A. K. Datta, D. Bhattacharya, A. Saha // Journal of plant development sciences. – 2012. – № 4. – 1–43 p.
5. Paarakh P. M. Nigella sativa Linn. – A comprehensive review / P. M. Paarakh // Indian J. Nat. Prod. – 2010. – № 1. – P. 409–429.
6. Ал-Карнаки И. М. Черный тмин. Профилактика, лечение заболеваний / И. М. Ал-Карнаки. Изд-во Диля. – 2013. – 96 с.
7. Ijaz H. Review: Nigella sativa (Prophetic Medicine): A Review. / H. Ijaz, U. R. Tulain, J. Qureshi, Z. Danish, S. Musayab, M. F. Akhtar, A. Saleem, K. K. Khan, M. Zaman, I. Waheed, I. Khan, M. Abdel-Daim // Pak J Pharm. – 2017. Vol. 30, № 1. – P. 229–234.
8. Aftab A. *Nigella sativa* L. from traditional to contemporary medicine: a review / A. Aftab, Y. Zubaida, J. Arshad, R. Ashiq, A. Shakeel, K. Farah // International Journal of Biology and Biotechnology. – 2018. – Vol. 15, № 2. – P. 237–254.
9. Malhotra S. K. Nigella. Handbook of Herbs and Spices / S. K. Malhotra, 2004. – Vol. 2. – P. 206–214.
10. Исакова А. Л. Оценка исходного материала нигеллы (*Nigella* L.) и его использование в селекции / Исакова А.Л. Автореф.канд.с-х.наук. Горки. – 2020. – 21 с.
11. Сампиев А. М. Фитохимическое изучение семян чернушки посевной / А. М. Сампиев, Н. К. Рудь, Н. А, Давитян // Фундаментальные исследования. Фармацевтические науки. – 2014. – № 5. – С.114–117.
12. Кухарева Л. В. Полезные травянистые растения природной флоры: справочник по итогам интродукции в Белоруссии / Л. В. Кухарева, Г. В. Пашина. – Минск: Наука и техника, 1986. – 215 с.
13. Амирова Л. А. Интродукционный анализ некоторых видов рода *Nigella* L. в условиях Дагестана / Л. А. Амирова // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия культурных растений: Сборник материалов XI международной научно-методической конференции, 9–13 июня 2014 г. Махачкала. – 2014. – С. 10–12.

14. Шлаш М. Некоторые биологические особенности семян чернушки посевной / М. Шлаш, Н. М. Найда // Актуальные проблемы инноваций с нетрадиционными растительными ресурсами и создания функциональных продуктов. – 2003. – № 7. – С. 177–181.

15. Кудинов М. П. Пряно-ароматические растения / М. П. Кудинов, Л. В. Кухарева, Г. В. Пашина, Е. В. Иванова. – Минск: Урожай, 1986. – 159 с.

16. Макрушин Н. М. Динамика урожайности семян чернушки посевной и подорожника блошного / Н. М. Макрушин, В. Э. Астафьева, Т. Ю. Майорова // Науч. труды ЮФ «КАТУ» НАУ: с.-х. науки. Симферополь. – 2007. № 104. – 195–199 с.

17. Орловская Т. В. Морфолого-анатомическое изучение семян чернушки посевной (*Nigella sativa* L.) и чернушки дамасской (*Nigella damascena* L.). / Т. В. Орловская, С. Ю. Маширова // Традиционная медицина. – 2012. – № 3. – С. 54–57.

18. Ghamarnia H. Yield and water use efficiency of (*Nigella sativa* L.) under different irrigation treatments in a semi arid region in the West of Iran./ H. Ghamarnia // Med. Plants Res. – 2010. – Vol. 4, № 16: – P. 1612–1616. DOI: 10.5897/JMPR09.376

19. Margout D. Morphological, microscopic and chemical comparison between *Nigella sativa* L. (black cumin) and Nigella damascena L. / D. Margout, M. T. Kelly, S. Meunier // J. of Food, Agriculture & Environment. – 2013. – Vol. 11, № 1. – P.165–171.

20. Evi S. Pertumbuhan Jintan Hitam (*Nigella sativa* L.) pada Tingkat Naungan dan Pemupukan Nitrogen yang Berbeda / S. Evi, K. Ani, D. W. Winarso, N. F. dan Didah // Jurnal Agronomi Indonesia. – 2018. – Vol.46, № 2. – P. 202–207. DOI:10.24831/jai.v46i2.16722

21. Esmaeil R.-C. Response of Seed Yield and Essential oil of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Affected as Foliar Spraying of Nano-fertilizers / R.-C. Esmaeil, R. Sajjad, R. Amir, H. Hashem, M. Hassan // Journal of Medicinal Plants and By-products. – 2018. – Vol. 7, № 1. – P.33-40. DOI 10.22092/JMPB.2018.116726.

22. Ozer H. Response of black cumin (Nigella sativa L.) to deficit irrigation in a semi-arid region: growth, yield, quality, and water productivity. / H.Ozer, F.Coban, U.Sahin, S.Ors S. //Industrial Crops and Products. – 2020. DOI:10.1016/j.indcrop.2019.112048.

23. Кузнецов С. А. Влияние срока сева на продуктивность чернушки дамасской в предгорной зоне Крыма / С. А .Кузнецов // Известия ОГАУ. – 2015. Т. 54, № 4. – С. 56–58.

24. Pop R. M. Future Perspectives on Nigella Sativa: Characterization and Pharmacological Properties / R. M. Pop // Series: Herbs and Herbalism. New York: Nova Biomedical. – 2018. – 280 p. ISBN: 978-1-53613-429-2

25. Ramadan M. F. Nutritional value, functional properties and nutraceutical applications of black cumin (*Nigella sativa* L.): an overview. / M. F. Ramadan // International Journal of Food Science & Technology. – 2007. – Vol.42, № 10. – P. 1208–1218. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01417.x

26. Abdalla M. Czarnuszka jako surowiec piekarski / M. Abdalla // Przegl.piekarski cukiern. – 2002. – Vol. 50, № 3. – P. 6–8.

27. Орловская Т. В. Фармакогностическое исследование некоторых культивируемых растений с целью расширения их использования в фармации / Т. В. Орловская. Автореф.дисс. доктора фармацевтических наук. – Пятигорск, 2011. – 49 с.

28. Маширова С. Ю. Фармакогностическое изучение семян чернушки дамасской (*Nigella damascena* L), выращенной в условиях Ставропольского края /

С. Ю. Маширова. Автореф. дисс. кандидата фармацевтических наук. – Пятигорск, 2013. – 25 с.

29. Kabir Y. Volatile compounds of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds cultivated in Bangladesh and India / Y. Kabir, Y. Akasaka-Hashimoto, K. Kubota, M. Komai // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, № 10: DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05343

30 Рудь Н. К. Основные результаты фитохимического и фармакологического исследования чернушки посевной (обзор) / Н. К. Рудь, А. М. Сампиев, Н. А. Давитян // Науч. вед. Белгородского гос. ун-та. – 2013. – Т. 25. – С. 207–212.

31. Atta-Ur-Rahman. Nigellidine-a new indazole alkaloid from the seed of *Nigella sativa*. / Atta-Ur-Rahman. // Tetrahedron Lett. – 1995. – Vol. 36, № 12. P. 1993–1994.

32. Botnick I. Distribution of Primary and Specialized Metabolites in Nigella sativa Seeds, a Spice with Vast Traditional and Historical Uses / I.Botnick // Molecules. – 2012. – Vol.17. – P.10159–10177. DOI:10.3390 / molecules170910159.

33. Gholamnezhad Z. Preclinical and clinical effects of *Nigella sativa* and its constituent, thymoquinone: A review / Z. Gholamnezhad, S. Havakhah, M. H. Boskabady // J Ethnopharmacol. – 2016. – Vol. 190. – P. 372–386. DOI: 10.1016/j.jep.2016.06.061.

34. Нурмагомедова П. М. Обзор статей. Свойства чернушки посевной (*Nigella sativa* L.) / П. М. Нурмагомедова, М. Г. Омариева // Медицина и здравоохранение: Материалы II Международной научной конференции. Уфа. – 2014. – С. 62–65.

35. Namazi N. Review: The effects of *Nigella sativa* L. on obesity: A systematic review and meta-analysis / N. Namazi, L. Bagher, A. H. Mohammad, A. Mohammad A. // Journal of Ethnopharmacology. – 2018. – Vol.219. – P. 173–181. DOI:10.1016/j.jep.2018.03.001.

36. Караматов И. Д. Чернушка посевная как лечебное средство в древней, современной народной и научной медицине (обзор литературы) / И.Д.Караматов, И. У. Абдулхаков // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 4. – С. 406–413.

37. Abbasalizad F. The effects of *Nigella sativa* on thyroid function, serum Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) – 1, Nesfatin-1 and anthropometric features in patients with Hashimoto's thyroiditis: a randomized controlled trial / F. Abbasalizad, D. Mahdieh, T. Parvin, A. Siroos, M. Mehran // BMC Complementary & Alternative Medicine. – 2016. – Vol. 16. – P. 1–9. DOI: 10.1186/ s12906-016-1432-2.

38. Parichehr H. Renal injury, nephrolithiasis and Nigella sativa: A mini review / H. Parichehr, A. K. Rad, Z. Rajaei, M. Hadjzadeh //Avicenna Journal of Phytomedicine. – 2016. – Vol.6№ 1. – P. 1–8. PMCID: PMC4884213.

39. Parveen A. A New Oleanane Type Saponin from the Aerial Parts of Nigella sativa with Anti-Oxidant and Anti-Diabetic Potential / A. Parveen, M. A. Farooq, W. W. Kyunn // Molecules. – 2020. – Vol. 25, № 9. – P.2171. DOI:10.3390 / modules25092171.

40. Abbasali A. Nigella sativa L. seed regulated eNOS, VCAM-1 and LOX-1 genes expression and improved vasoreactivity in aorta of diabetic rat / A. Abbasali, S. Niazmand, M.Mahmoudabady, S.A.Rezaee, M.Soukhtanloo, R.Mosallanejad, P.Hayatdavoudi // Journal of Ethnopharmacology. – 2019. – Vol. 228. – P. 142–147. DOI:10.1016/j.jep.2018.09.021.

41. Abdel-Moneim A. Protective effect of *Nigella sativa* seeds against spermatocyte chromosomal aberrations and genotoxicity induced by carbon tetrachloride in mice / A. Abdel-Moneim, A. Essawy, S. Hamed, A. Abou-Gabal, A. Alzergy // Environmental

Science & Pollution Research. – 2017. – Vol. 24, № 12. – P. 11677–11682. DOI:10.1007/s11356-017-8806-y.

42. Javidi S. A review of Neuropharmacology Effects of *Nigella sativa* and Its Main Component, Thymoquinone / S. Javidi, B. M. Razavi, H. Hosseinzadeh // Phytother Res. – 2016. Vol. 30, № 8. – P. 1219–1229. DOI: 10.1002/ptr.5634.

43. Samarghandian S. A Review on Possible Therapeutic Effect of *Nigella sativa* and Thymoquinone in Neurodegenerative Diseases / S. Samarghandian, T. Farkhondeh, F. Samini // CNS Neurol Disord Drug Targets. – 2018. – Vol. 17, № 6. – P. 412–420. doi: 10.2174/1871527317666180702101455.

44. Randhawa M. A. Anticancer Activity of *Nigella sativa* (Black Seed) – A Review. / N. A. Randhawa, M. S. Alghamdi // The American Journal of Chinese Medicine. – 2011. – Vol. 39, № 6. – P. 1075–1091. doi: 10.1142/S0192415X1100941X.

45. Imran M. Thymoquinone: A novel strategy to combat cancer: A review / M. Imran, A. Rauf, I. A. Khan, M. Shahbaz, T. B. Qaisrani, S. Fatmawati, T.-Abu-Izneid, A.-Imran, K.-U.-Rahman, T. A.Gondal / Biomed Pharmacother. – 2018 – Vol. 106. – P. 390–402. DOI:10.1016/j.biopha.2018.06.159.

46. Исакова А. Л. Компонентный состав летучих соединений, выделяемых семенами нигеллы посевной (*Nigella sativa* L.) / А. Л. Исакова, М. Ю. Мишина, Ё. Фудзии, В. Н. Прохоров // Земледелие и селекция в Беларуси: Сборник научных трудов Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина. – 2018. – Т. 54. – С. 239–243.

47. Elkadery A. A. S. Efficient therapeutic effect of *Nigella sativa* aqueous extract and chitosan nanoparticles against experimentally induced Acanthamoeba keratitis / A. A. S. Elkadery, E. A. Elsherif, H. M. E. Eldin, I. A. F. Fahmy, O. S. Mohammad // Parasitology Research. – 2019. – Vol. 118, № 8. – P. 2443–2454.

48. Маширова С. Ю. Исследование пептидов семян чернушки посевной и чернушки дамасской / С. Ю. Маширова, Т. В. Орловская // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции: Сборник научных трудов Пятигорской ГФА. – Пятигорск. – 2012. – Т. 67. С. 83–86.

49. Bahumaish O. Occurrence of methicillin-resistant Staphylococcus aureus in raw shellfish at retail markets in Malaysia and antibacterial efficacies of black seed (*Nigella sativa*) oil against MRSA / O. Bahumaish, K. Ramzi, H. Chee, A. S. Mohammed, Y. K. Cheah, C. W. Tan, C. Y. New, T. Y. Thung, C. W. San, Y. Y. Loo, Y. Nakaguchi, M. Nishibuchi, S. Radu // Food Control. – 2018. –Vol. 90. – P. 324–331. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.02.045.

50. Shkhaier S. L. Investigating the Efficiency of Simple Aqueous Extract of *Nigella sativa* Activity Against Serratia Marcescens Bactria / S. L. Shkhaier, M. A. Majid, W. M. Allawi, J. A. Al-Fatah, H. H. Abed // Journal of Science. – 2020. – Vol. 31, № 3. – P. 39–45.

51. Sieniawska E. Essential Oil-A Valuable Source of-Elemene for Antimicrobial Testing / E. Sieniawska, R. Sawicki, J. Golus, M.S watko-Ossor, G. Ginalska, K. Skalicka-Wozniak // Molecules. – 2018. – Vol. 23, № 2. – P. 1–11. DOI:10.3390/molecules23020256.

52. Udu R. Antimalarial Activity of Nigella sativa L. Seed Extracts and Selection of Resistance in Plasmodium berghei ANKA in a Mouse Model / R. Udu, J.Oyweri, J.Gathirwa //Journal of pathogens [J Pathog]. – 2021. Article ID 6165950.| DOI:10.1155/2021/6165950.

53. Mohammad R. K. Possible therapeutic effects of *Nigella sativa* and its thymoquinone on COVID-19 / R. K. Mohammad, G. Shoukouh, S. Mahmood // Pharm Biol. – 2021. – Vol. 59, № 1. – P. 696–703. doi:10.1080/13880209.2021.1931353

54. Xu H. Computational and Experimental Studies Reveal That Thymoquinone Blocks the Entry of Coronaviruses Into In Vitro Cells / H. Xu, B. Liu, Z. Xiao // Infect Dis Ther. – 2021, № 10. – P. 483–494. https://doi.org/10.1007/s40121-021-00400-2

55. Bhishnurkar P. G. Gas chromatography – mass spectrometry analysis of the essential oil from *Nigella sativa* Linn.seeds / P. G. Bhishnurkar, S. S. Deo, F. S. Inam // Journal of Advanced Scientific Research. – 2020. – № 11. – P. 326–330.

56. Abdelhamid A. *Nigella sativa* L. Seeds Biomass as a Potential Sorbent in Sorption of Lead from Aqueous Solutions and Wastewaters / A. Abdelhamid, N. Belattar, M. Elektorowicz // Oriental Journal of Chemistry. – 2018. – Vol.34, № 2. – P. 638–647. DOI:10.13005/ojc/340205.

57. Shooto N. D. Simultaneous adsorptive study of toxic metal ions in quaternary system from aqueous solution using low cost black cumin seeds (*Nigella sativa*) adsorbents / N. D. Shooto, P. M. Thabede, E. B. Naidoo // South African Journal of Chemical Engineering. – 2019. – № 30. – P. 15–27. DOI:10.1016/j.sajce. 2019.07.002.

58. A., Shahab K. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Nigella sativa* L. Extract: The Effect on the Height and Number of Branches / K. Shahab, R. B. Mohammad, G. Masoud, G. Mansour // Journal of Nanostructures. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 82–88. DOI:10.22052/JNS.2018.01.010.

59. Arif S. Comparison of *Nigella sativa* and *Trachyspermum ammi* via experimental investigation and biotechnological potential / S. Arif, H. Saqib, M. Mubashir, S. I. Malik, A. Mukhtar, S. Saqib, S. Ullah, P. L. Show // Chemical Engineering & Processing. – 2021. – P.161. pN.PAG-N.PAG. 1p. DOI:10.1016/j.cep.2021.108313.

60. Siddiqui S. I. Nigella sativa seed based nanohybrid composite-Fe2O3–SnO2/BC: A novel material for enhanced adsorptive removal of methylene blue from water / S. I. Siddiqui, F. Zohra, S. A. Chaudhry / Environmental Research. – 2019. – 178. DOI:10.1016/j.envres.2019.108667.

61. Rathi G. *Nigella sativa* seeds based antibacterial composites: A sustainable technology for water cleansing – A review / G. Rathi, S. I. Siddiqui, Q. Pham, V. T. Nam // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2020. – 18 DOI:10.1016/j.scp.2020.100332.

62. Sabbah M. Black Edible Films from Protein-Containing Defatted Cake of *Nigella sativa* Seeds / M. Sabbah, M. Altamimi, P. Di Pierro, C. Schiraldi, M. Cammarota, R. Porta // International Journal of Molecular Sciences. – 2020. – Vol. 21, № 3. – P. 832. DOI:10.3390 / ijms21030832.

63. Celik H. Anti-genotoxic and anti-cytotoxic potential of black cumin seed (*Nigella sativa*) extract on aluminum-exposed human lymphocyte cells / H. Celik, C. Bagci, A. Kocyigit, I. Koyuncu, A. Z. Karakilcik // Journal of Harran University Medical Faculty. – 2018. – Vol. 15, № 3. – P. 103–110.

64. Al-Beitawi N. Effect of Feeding Different Levels of *Nigella sativa* Seeds (Black Cumin) on Performance, Blood Constituents and Carcass Characteristics of Broiler Chicks / N. Al-Beitawi, S. A. El-Ghousein // International J. of Poultry Science. – 2008. – Vol. 7. – P. 715–721. DOI:10.3923/ijps.2008.715.721.

65. Yalcin S. Effects of dietary black cumin seeds (*Nigella sativa* L.) on performance, egg traits, egg cholesterol content and egg yolk fatty acid composition in laying hens /

S.Yalcin, H.Erol // J Sci Food Agric. – 2009. – Vol. 89. – P.1737-1742. DOI:10.1002/jsfa.3649.

66. Khondoker S. Effect of Nigella sativa (Black Cumin Seed) to Enhance the Immunity of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Against Pseudomonas fluorescens / S. Khondoker, M. Hasan-Uj-Jaman, M. Zaman, U. Farid // American J. of Life Sciences. – 2016. – Vol. 4, № 3. – P. 87–92.

67. Öz M. Effects of black cumin (*Nigella sativa*) oil on ammonia and biogenic amine production in rainbow trout / M.Öz // Indian Journal of Animal Research. – 2018. – Vol. 52, № 2. – P. 265–269. DOI:10.18805/ijar.v0iOF.8474.

68. Einafshar S. Comparison of antifungal effects of Nigella sativa oil and extract with Imazalil on two apple cultivars in cold storage / S.Einafshar // Iranian Food Science & Technology Research Journal. – 2019. – Vol. 15, № 4. – P. 507–516.

69. Al-Ansi W. Evaluating the role of microwave-baking and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) nigella (Nigella sativa L.) on acrylamide growth and antioxidants potential in biscuits / W. AL-Ansi, A. A. Mahdi; Q. A. Al-Maqtari, M. Fan, L. Wang, Y. Li, H. Qian, H. Zhang // Journal of Food Measurement & Characterization. – 2019. Vol. 13, № 3. – P. 2426–2437.

70. Ligarnasari I. P. Physical, chemical and sensory properties of brownies substituted with sweet potato flour (Ipomoea batatas L.) with addition of black cumin oil (*Nigella sativa* L.) / I. P. Ligarnasari, C. Anam, A. P. Sanjaya // Earth & Environmental Science. – 2018. – Vol. 102, № 1. – p1-1. DOI:10.1088/1755-1315/102/1/012084

71. Rao A. S. *Nigella sativa* and *Trigonella foenum-graecum* Supplemented Chapatis Safely Improve HbA1c, Body Weight, Waist Circumference, Blood Lipids, and Fatty Liver in Overweight and Diabetic Subjects: A Twelve-Week Safety and Efficacy Study / A. S. Rao, S. Hegde, L. M. Pacioretty, J. B. DeBenedetto, G. John // Journal of Medicinal Food. – 2020. – Vol. 23, № 9. – P. 905–919. DOI: 10.1089/jmf.2020.0075

72. Кораблева О. А. Интродукция и использование видов рода *Nigella* / О. А. Кораблева, Д. Б. Рахметов. 2011-05 ВІ03 БД ВИНИТИ.

73. Курако У. М. Разработка технологии халяльного паштета из печени индейки методом обогащения маслом черного тмина / У. М. Курако // Аграрн. науч. журн. – 2016. – № 3. – С. 52–56.

74. Food giant Nestlé claims to have invented stomach soothing use of habbat al-barakah (*Nigella sativa*) Nagoya Protocol ICNP-2 2 - 6 July 2012, New Delhi. 4 p

75. Немтинов В. И. Нигелла посевная в Крыму / В. И. Немтинов // Картофель и овощи. – 2016. – № 10. – С. 22-23.

76. Гукетлова О. М. Определение основных показателей масла черного тмина / О. М. Гукетлова, С. П. Лукашук // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 8. – С. 17–18.

Поступила в редакцию 08.11.2021 г.

УДК 634.739.3:736(476)

Ж. А. РУПАСОВА[1], А. П. ЯКОВЛЕВ[1], П. Н. БЕЛЫЙ[1],
Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ[1], Н. Б. КРИНИЦКАЯ[1], В. С. ЗАДАЛЯ[1],
Э. И. КОЛОМИЕЦ[2], З. М. АЛЕЩЕНКОВА[2],
И. Н. АНАНЬЕВА[2], Л. Е. КАРТЫЖОВА[2], Н. Г. КЛИШЕВИЧ[2],
Т. М. КАРБАНОВИЧ[3], А. М. РАДКЕВИЧ[4]

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛОДАХ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ (*OXYCOCCUS MACROCARPUS* AIT. PERS.), ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ ВЕРХОВОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

[1]*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: J. Rupasova@cbg.org.by,*
[2]*Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь,*
[3]*Министерство сельского хозяйства и продовольствия РБ, Минск, Беларусь*
[4]*Глава крестьянско-фермерского хозяйства «Ягодная поляна», Смолевичский район Минская область, Беларусь*

Аннотация. В статье приведены результаты сравнительного исследования в 2019–2020 гг. в опытной культуре на рекультивируемых участках выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений верхового типа в Смолевичском районе Минской области и в расположенном на 250 км севернее Докшицком районе Витебской области содержания фенольных соединений в плодах сортов *Ben Lear* и *Stevens* клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus* Ait. Pers.) на фоне внесения минерального удобрения Basacot Plus 6 и микробного препарата МаКлоР в 5- и 10 %-ной концентрациях, а также некорневых обработок Экогум-комплексом. Установлена существенная зависимость степени влияния испытываемых агроприемов на темпы биосинтеза основных компонентов Р-витаминного комплекса плодов клюквы (антоциановых пигментов, катехинов и флавонолов), а также дубильных веществ от генотипа растений, географического и метеорологических факторов.

Ключевые слова: географический фактор, погодные условия, полное минеральное удобрение, органическое удобрение Экогум-комплекс, микробный препарат МаКлоР, клюква крупноплодная, сорт.

ZH. A. RUPASOVA[1], A. P. YAKOVLEV[1], P. N. BELY[1],
T. I. VASILEUSKAYA[1], N. B. KRINYTSKAYA[1], V. S. ZADALIA[1],
E. I. KOLOMIETS[2], Z. M. ALESHCHENKOVA[2], I. N. ANANIEVA[2],
L. E. KARTYZHOVA[2], N. G. KLISHEVICH[2],
T. M. KARBANOVICH[3], A. M. RADKEVICH[4]

INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON ACCUMULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN FRUITS OF *OXYCOCCUS MACROCARPUS* AIT. PERS. ON DEVELOPED PEAT DEPOSIT OF HIGH TYPE IN THE CONDITIONS OF BELARUS

[1]*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: J. Rupasova@cbg.org.by*
[2]*Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus,Minsk, Belarus*
[3]*Ministry of Agriculture and Food of Republic of Belarus*
[4]*Peasant Farm "Yagodnaya Polyana", Smolevitchi district, Belarus*

Annotation. The article deals with the results of comparative study of the influence of mineral («Basacote Plus 6M») and organic («Ekogum complex», «MaKloR» (in 5 and 10 % concentrations)) fertilizers on the content of phenolic compounds in fruits of early-ripening (*Ben Lear*) and late-ripening (*Stevens*) varieties of large-fruited cranberry in experimental culture on recultivated areas of peat deposits of high type in Smolevichi (Minsk region) and Dokshytsy (Vitebsk region) districts in 2019–2020. A significant dependence of the degree of influence of the tested agricultural practices on the rate of biosynthesis of the main components of the P-vitamin complex of cranberry fruits (anthocyanin pigments, catechins and flavonols), as well as tannins, on the genotype of plants, geographical and meteorological factors was established.

Keywords: geographical factor, weather conditions, complete mineral fertilizer, organic fertilizer Ecohum-complex, microbial preparation MacloR, large-fruited cranberry, cultivar

Введение. В связи с оптимизацией режима минерального питания клюквы крупноплодной (*Oxycoccus macrocarpus*) при выращивании на рекультивируемых площадях выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Беларуси, было осуществлено испытание на сортах клюквы разных сроков созревания новых видов удобрений – минерального гранулированного удобрения пролонгированного действия Basacote Plus 6M ($N_{15}P_8K_{12}$ кг/га д.в.) производства компании COMPO (Германия), а также двух видов органических удобрений нового поколения – Экогум-комплекс и соответствующего биологической природе вересковых микробного препарата МаКлоР. Первое из них производства УП «Белуниверсалпродукт» (РБ) – полностью натуральное гуминовое органическое удобрение с повышенной физиологической активностью, созданное на основе вытяжки из торфа с добавлением макро- и микроэлементов. Входящие в состав препарата гуминовые и фульвокислоты оказывают непосредственное влияние на клеточные мембраны, повышая их проницаемость и обеспечивая транспорт минеральных соединений в активные метаболические зоны растений.

Микробный препарат МаКлоР создан в Институте микробиологии НАН Беларуси специально для обработки почвы и корневой системы микроклональных и вегетирующих растений рода *Vaccinium*, являющихся, как и *Oxycoccus macrocarpus*, представителями сем. Ericaceae. Его основой являются азотфиксирующие бактерии и арбускулярно-микоризные грибы, входящие в состав препарата, которые размножаются на поверхности корневой системы и способствуют накоплению биологического азота и фосфора, стимулирующему у растений развитие ризосферы и ростовую функцию [1].

Особый научный и практический интерес в этой работе представляло исследование влияния погодных условий вегетационного периода на формирование биофлавоноидного комплекса плодов клюквы на фоне внесения обозначенных выше видов удобрений.

Объекты (материалы) и методы исследований. Исследования выполнены в 2019–2020 гг. на пятилетних растениях модельных сортов *O. macrocarpus – Ben Lear* (из раннеспелых) и Stevens (из позднеспелых) в двух районах республики – Смолевичском (Минская обл.) и Докшицком (Витебская обл.), расположенных друг от друга на расстоянии 250 км,

в рамках однотипных полевых экспериментов с 5-вариантной схемой: **1** – контроль, без внесения удобрений; **2** – припосадочное (в мае) луночное внесение удобрения Basacot Plus 6 из расчета 1,5 г под растение; **3** – некорневая обработка вегетирующих растений раствором удобрения Экогум-комплекс в концентрации 15 мл на 3 л воды из расчета 75 мл на растение; **4** – припосадочное (в мае) луночное внесение 5 %-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение; **5** – припосадочное (в мае) луночное внесение 10 %-ного раствора препарата МаКлоР из расчета 0,2 л под растение. Повторность опытов трехкратная, в каждом варианте было высажено по 15 растений каждого сорта клюквы крупноплодной.

Определение *содержания биофлавоноидов* в плодах опытных растений осуществляли в период их съемной зрелости повариантно определяли суммарное содержание антоциановых пигментов по методу T. Swain, W. E. Hillis [2], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [3]; собственно *антоцианов* и *суммы катехинов* (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [4, 5]; *суммы флавонолов* (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [6], дубильных веществ – титрометрическим методом Левенталя [7]. Аналитические определения выполнены в 3-кратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Результаты и их обсуждение. Годы исследований характеризовались контрастным характером погодных условий вегетационного периода. Так, первый из них был отмечен неравномерным выпадением незначительного количества атмосферных осадков при существенных колебаниях в преимущественно повышенного температурного фона – чрезвычайно высокого в июне и несколько пониженного в июле и августе, тогда как второй отличался умеренно прохладной и дождливой погодой, особенно в первой половине сезона.

Как следует из таблицы 1, на фоне погодных условий вегетационного периода 2019 г. сорта *Ben Lear* и *Stevens* в Смолевичском районе Минской области и сорт Stevens в Докшицком районе Витебской области характеризовались в рамках эксперимента довольно близкими диапазонами варьирования общего содержания в сухом веществе плодов фенольных соединений, составлявших 12715,3–15348,0 мг/100 г, 13562,8–15848,2 и 11737,3-17546,2 мг/100 г, в том числе антоциановых пигментов – 8424,0–11401,0 мг/100 г, 8580,0–11648,0 и 7033,0–10231,0 мг/100 г (из них собственно антоцианов – 2050,0–2945,0 мг/100 г, 1400,0–3240,0 и 350,0–1180,0 мг/100 г, лейкоантоцианов – 6234,0–8456,0 мг/100 г, 6701,0–8408,0 и 6074,0–9191,0 мг/100 г), катехинов – 2015,0–2639,0 мг/100 г, 2340,0–3328,0 и 3224,0–4719,0 мг/100 г, флавонолов – 1657,2–1978,1 мг/100 г, 1735,8–2200,8 и 1480,3–2908,2 мг/100 г и дубильных веществ – 3,04–3,70 %, 3,33–4,03 и 4,74–5,36 %.

В условиях сезона 2020 г. аналогичные диапазоны варьирования в рамках эксперимента общего содержания биофлавоноидов (Р-витами-

нов) в сухом веществе плодов сортов *Ben Lear* и *Stevens* в Смолевичском районе и сорта *Stevens* в Докшицком районе соответствовали следующим областям значений – 8495,4–10219,9 мг/100 г, 11392,7–13265,7 и 12115,7–15541,9 мг/100 г, в том числе антоциановых пигментов – 4823,0–5945,3 мг/100 г, 7462,0–9069,7 и 6627,8–8675,3 мг/100 г (из них собственно антоцианов – 1796,7–2170,0 мг/100 г, 1715,0–3161,7 и 1470,0–2275,0 мг/100 г, лейкоантоцианов – 2909,7–3880,3 мг/100 г, 5089,0–6482,0 и 5157,8–6769,0 мг/100 г), катехинов – 2229,5–3018,2 мг/100 г, 2608,7–3185,0 и 3822,0–5005,0 мг/100 г, флавонолов – 1215,0–1665,9 мг/100 г, 1207,4–1665,9 и 1480,3–2468,3 мг/100 г и дубильных веществ – 2,37–3,06 %, 3,62–4,28 и 3,16–3,79 %.

Нетрудно убедиться в наличии заметных межсезонных различий диапазонов варьирования исследуемых показателей, что однозначно свидетельствовало о существенном влиянии гидротермического режима сезона на содержание фенольных соединений в плодах опытных объектов. При этом в Смолевичском районе во второй год наблюдений преобладание прохладной и дождливой погоды в период вегетации растений обусловило у обоих сортов клюквы сходные изменения в содержании отдельных соединений по сравнению с предыдущим сезоном. Это подтверждалось смещением диапазонов варьирования содержания катехинов в область более высоких, а содержания антоциановых пигментов и флавонолов в область более низких значений при наличии заметных сортовых различий в изменении диапазона содержания дубильных веществ, для которого было показано смещение в область более низких значений у раннеспелого сорта и более высоких у позднеспелого.

В отличие от Смолевичского района, в Докшицком р-не во втором сезоне у сорта *Stevens* наблюдалось заметное обогащение плодов собственно антоцианами и катехинами на фоне обеднения дубильными веществами при отсутствии различий диапазонов варьирования содержания флавонолов. Наиболее же объективное представление о степени межрегиональных различий количественных характеристик биохимического состава плодов клюквы в отдельных вариантах опыта на примере сорта Stevens можно составить по данным таблицы 2. Они свидетельствуют о том, что направленность статистически значимых различий и их относительные размеры определялись видом используемых удобрений и химической природой исследуемых соединений.

Так, в первый год наблюдений, несмотря на сравнительно небольшое расстояние между опытными стационарами в Докшицком районе плоды этого сорта в большинстве вариантов опыта характеризовались на 16–40 % меньшим содержанием антоциановых пигментов, в том числе на 16–89 % собственно антоцианов и на 5–21 % лейкоантоцианов, тогда как для катехинов и флавонолов, напротив, было показано на 32–74 и 21–58 % более высокое содержание, способствовавшее увеличению на 8–15 % общего выхода Р-витаминов. Наряду с этим для северного региона была показана на 25–45 % более выраженная, чем в южном, активизация накопления в плодах сорта *Stevens* дубильных веществ.

Таблица 1. Содержание фенольных соединений в сухой массе плодов *Oxycoccus macrocarpus* в вариантах полевого опыта в районах исследований в годы наблюдений

Table 1. Content of phenolic compounds in dry mass of the fruits of *Oxycoccus macrocarpus* in the variants of field experiment in the study areas during the years of observation

Вариант опыта	**2019 г.**							
	Смолевичский район Минской области							
	Сорт ***Ben Lear***							
	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		**лейкоантоцианы**		**сумма антоциановых пигментов**		**катехины**	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***
1 – Контроль	2190,0±5,8		6234,0±42,4		8424,0±45,0		2418,0±45,0	
2 – Basacot Plus 6	2100,0±32,1	-2,8*	7611,0±35,2	25,0*	9711,0±45,0	20,2*	2639,0±34,4	3,9*
3 – Экогум-комп.	2945,0±27,8	26,6*	8456,0±23,3	45,9*	11401,0±26,0	57,3*	2054,0±46,9	–5,6*
4 – 5 % МаКлоР	2810,0±20,0	29,8*	7213,0±92,3	9,6*	10023,0±90,1	15,9*	2509,0±46,9	1,4
5– 10 % МаКлоР	2050,0±26,5	-5,2*	7739,0±65,5	19,3*	9789,0±45,0	21,4*	2015,0±34,4	–7,1*
	флавонолы		**флавонолы/катехины**		**сумма биофлавоноидов**		**Дубильные вещ., %**	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***
1 – Контроль	1873,3±28,6		0,77±0,01		12715,3±66,2		3,04±0,01	
2 – Basacot Plus 6	1932,3±17,3	1,8	0,73±0,02	–2,6	14282,3±42,6	19,9*	3,70±0,02	26,8*
3 – Экогум-комп.	1893,0±17,3	0,6	0,92±0,01	9,8*	15348,0±76,8	26,0*	3,54±0,03	18,2*
4 – 5 % МаКлоР	1657,2±13,1	-6,9*	0,66±0,01	–7,5*	14189,2±119,1	10,8*	3,20±0,02	6,6*
5 – 10 % МаКлоР	1978,1±23,6	2,8*	0,98±0,01	23,2*	13782,1±51,7	12,7*	3,29±0,03	9,1*

Вариант опыта	Сорт ***Stevens***							
	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		**лейкоантоцианы**		**сумма антоциановых пигментов**		**катехины**	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***
1 – Контроль	1400,0±10,0		7180,0±81,6		8580,0±90,1		2782,0±17,7	
2 – Basacot Plus 6	3240,0±34,6	51,0*	8408,0±71,5	11,3*	11648,0±79,1	25,6*	2340,0±22,5	–15,4*
3 – Экогум-комп.	2490,0±34,6	30,2*	6701,0±6,6	–5,9*	9191,0±34,4	6,3*	2639,0±28,2	–4,3*
4 – 5 % МаКлоР	2320,0±26,5	32,5*	7781,0±34,2	6,8*	10101,0±45,0	15,1*	2587,0±34,4	–5,0*
5 – 10 % МаКлоР	2390,0±20,0	44,3*	7633,0±73,4	4,1*	10023,0±90,1	11,3*	3328,0±34,4	14,1*
	флавонолы		**флавонолы/катехины**		**сумма биофлавоноидов**		**Дубильные вещ., %**	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***
1 – Контроль	2200,8±30,0		0,79±0,01		13562,8±135,9		3,45±0,02	
2 – Basacot Plus 6	1860,2±17,3	–9,8*	0,79±0,01	0,7	15848,2±68,5	15,0*	4,03±0,02	17,8*
3 – Экогум-комп.	1735,8±23,6	–12,2*	0,66±0,01	–22,0*	13565,8±47,8	0	3,33±0,01	-5,2*
4 – 5 % МаКлоР	1919,2±28,6	–6,8*	0,74±0,01	–3,9*	14607,2±76,7	6,7*	3,45±0,02	0
5 – 10 % МаКлоР	1945,4±11,3	–8,0*	0,58±0,01	–28,0	15296,4±61,9	11,6*	3,91±0,01	19,9*

Продолжение табл. 1

Вариант опыта	***Докшицкий район Витебской области***							
	Сорт ***Stevens***							
	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		**лейкоантоцианы**		**сумма антоциановых пигментов**		**катехины**	
	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***
1 – Контроль	1180,0±20,0		6074,0±49,3		7254,0±45,0		4719,0±22,5	
2 – Basacot Plus 6	350,0±10,0	–37,1*	6683,0±34,0	10,2*	7033,0±34,4	–3,9*	3224,0±34,4	–36,4*
3 – Экогум-комп.	960,0±17,3	–8,3*	6359,0±26,5	5,1*	7319,0±34,4	1,1	4602,0±39,0	–2,6
4 – 5 % МаКлоР	1000,0±10,0	–8,0*	8971,0±71,4	33,4*	9971,0±68,8	33,0*	4394,0±34,4	–7,9*
5 – 10 % МаКлоР	1040,0±10,0	–6,3*	9191,0±76,6	34,2*	10231,0±68,8	36,2*	4407,0±45,0	–6,2*
	флавонолы		**флавонолы/катехины**		**сумма биофлавоноидов**		**Дубильные вещ., %**	
	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***
1 – Контроль	2751,0±11,3		0,58±0,01		14724,0±70,4		4,96±0,03	
2 – Basacot Plus 6	1480,3±28,6	–41,4*	0,46±0,01	–8,8*	11737,3±28,5	–39,3*	5,36±0,02	11,6*
3 – Экогум-комп.	2744,5±6,5	–0,5	0,60±0,01	3,0*	14665,5±29,8	–0,8	4,82±0,01	–5,2*
4 – 5 % МаКлоР	2312,2±28,6	–14,3*	0,53±0,01	–11,0*	16677,2±23,3	26,3*	4,74±0,01	–8,3*
5 – 10 % МаКлоР	2908,2±30,0	4,9*	0,66±0,01	5,7*	17546,2±68,0	28,8*	4,87±0,01	–3,3*

Вариант опыта	2020 г.							
	Смолевичский район Минской области							
	Сорт ***Ben Lear***							
	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		**лейкоантоцианы**		**сумма антоциановых пигментов**		**катехины**	
	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***
1 – Контроль	1796,7±11,7		3208,3±62,9		5005,0±52,5		2229,5±26,3	
2 – Basacot Plus 6	1983,3±42,1	4,3*	3567,7±58,9	4,2*	5551,0±52,5	7,3*	2426,7±40,1	4,1*
3 – Экогум-комп.	2170,0±40,4	8,9*	3502,3±68,4	3,2*	5672,3±30,3	11,0*	2403,9±49,7	3,1*
4 – 5 % МаКлоР	2065,0±60,6	4,3*	3880,3±106,0	5,5*	5945,3±66,1	11,1*	2608,7±30,3	9,4*
5 – 10 % МаКлоР	1913,3±30,9	3,5*	2909,7±44,0	–3,9*	4823,0±13,3	–3,4*	3018,2±40,1	16,4*
	флавонолы		флавонолы / катехины		сумма биофлавоноидов		Дубильные вещ., %	
	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	t	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	t	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	t	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	t
1 – Контроль	1260,9±0,1		0,57±0,01		8495,4±45,5		2,37±0,01	
2 – Basacot Plus 6	1215,0±8,5	-5,4*	0,50±0,01	-7,9*	9192,7±83,3	7,3*	2,93±0,01	48,5*
3 – Экогум-комп.	1490,1±66,2	3,5*	0,62±0,02	3,0*	9566,4±92,4	10,4*	3,06±0,01	59,8*
4 – 5 % МаКлоР	1665,9±33,3	12,2*	0,64±0,02	4,3*	10219,9±27,3	32,5*	2,97±0,01	52,0*
5 – 10 % МаКлоР	1604,8±66,2	5,2*	0,53±0,03	-1,2	9445,9±40,4	15,6*	3,04±0,03	25,6*

Окончание табл. 1

Вариант опыта	Сорт ***Stevens***							
	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		**лейкоантоцианы**		**сумма антоциановых пигментов**		**катехины**	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***
1 – Контроль	2555,0±20,2		5089,0±30,6		7644,0±10,4		3185,0±26,3	
2 – Basacot Plus 6	1715,0±20,2	–29,4*	6020,0±116,5	7,7*	7735,0±105,1	0,9	2775,5±26,3	–11,0*
3 – Экогум-комп.	1890,0±20,2	–23,3*	6482,0±65,0	19,4*	8372,0±52,5	13,6*	2843,8±60,2	–5,2*
4 – 5 % МаКлоР	3161,7±23,3	19,7*	5908,0±111,2	7,1*	9069,7±132,2	10,7*	2881,7±54,7	–5,0*
5 – 10 % МаКлоР	2135,0±53,5	–7,3*	5327,0±67,5	3,2*	7462,0±52,5	–3,4*	2608,7±30,3	–14,4*
	флавонолы		**флавонолы/катехины**		**сумма биофлавоноидов**		**Дубильные вещ., %**	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	***t***
1 – Контроль	1436,6±33,3		0,45±0,01		12265,6±17,6		3,66±0,02	
2 – Basacot Plus 6	1665,9±33,3	4,9*	0,60±0,02	6,6*	12176,4±98,3	–0,9	4,12±0,02	14,1*
3 – Экогум-комп.	1207,4±33,3	–4,9*	0,42±0,01	–1,8	12423,1±124,4	0	4,10±0,01	16,0*
4 – 5 % МаКлоР	1314,4±10,7	–3,5*	0,46±0,01	0,3	13265,7±190,0	5,2*	3,62±0,02	–1,2
5 – 10 % МаКлоР	1322,0±10,7	–3,3*	0,51±0,01	3,9*	11392,7±28,3	–26,2*	4,28±0,01	26,8*

Вариант опыта	*Докшицкий район Витебской области*							
	Сорт ***Stevens***							
	Биофлавоноиды, мг/100 г							
	собственно антоцианы		**лейкоантоцианы**		**сумма антоциановых пигментов**		**катехины**	
	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***
1 – Контроль	2012,5±30,3		5934,8±75,9		7947,3±80,3		4337,7±11,0	
2 – Basacot Plus 6	1470,0±20,2	–14,9*	5157,8±94,7	–6,4*	6627,8±80,3	–11,6*	3822,0±26,3	–18,1*
3 – Экогум-комп.	1633,3±11,7	–11,7*	6769,0±26,5	10,4*	8402,3±30,3	5,3*	4216,3±40,1	–2,9*
4 – 5 % МаКлоР	1808,3±11,7	–6,3*	5881,2±24,1	–0,7	7689,5±21,1	–3,1*	5005,0±26,3	23,4*
5 – 10 % МаКлоР	2275,0±20,2	7,2*	6400,3±115,9	3,4*	8675,3±109,4	5,4*	4398,3±80,3	0,7
	флавонолы		**флавонолы/катехины**		**сумма биофлавоноидов**		**Дубильные вещ., %**	
	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	***t***	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	t	$\overline{x} \pm s_{\overline{x}}$	t
1 – Контроль	2162,6±15,3		0,50±0,01		14447,6±82,2		3,16±0,01	
2 – Basacot Plus 6	1665,9±33,3	–13,6*	0,44±0,01	–5,5*	12115,7±112,4	-16,8*	3,79±0,05	12,8*
3 – Экогум-комп.	2124,4±33,3	–1,0	0,50±0,01	0,7	14743,1±38,2	3,3*	3,27±0,01	7,3*
4 – 5 % МаКлоР	2277,2±15,3	5,3*	0,45±0,01	–8,7*	14971,7±56,3	5,3*	3,33±0,02	9,8*
5 – 10 % МаКлоР	2468,3±33,3	8,3*	0,56±0,02	3,7*	15541,9±62,3	10,6*	3,25±0,03	3,3*

Примечание:* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при $P < 0,05$

Таблица 2. Межрегиональные различия (*Докшицкий район* / *Смолевичский район*) содержания фенольных соединений в плодах сорта *Stevens Oxycoccus macrocarpus* в вариантах полевого опыта в годы исследований, %

Table 2. Interregional differences (Dokshytsy district / Smolevichi district) in the content of phenolic compounds in fruits of O*xycoccus macrocarpus* (Stevens variety) in field experiments during the years of research, %

Показатель	Варианты опыта				
	Контроль	Basacot Plus 6	Экогум-компл.	5% МаКлоР	10% МаКлоР
2019 г.					
Собственно антоцианы	–15,7	–89,2	–61,4	–56,9	–56,5
Лейкоантоцианы	–15,4	–20,5	–5,1	**+15,3**	**+20,4**
Сумма антоц. пигментов	–15,5	–39,6	–20,4	–	–
Катехины	**+69,6**	**+37,8**	**+74,4**	**+69,9**	**+32,4**
Флавонолы	**+25,0**	–20,4	**+58,1**	**+20,5**	**+49,5**
Сумма биофлавоноидов	**+8,6**	–25,9	**+8,1**	**+14,2**	**+14,7**
Дубильные вещества	**+43,8**	+33,0	**+44,7**	**+37,4**	**+24,6**
2020 г.					
Собственно антоцианы	–21,2	–14,3	–13,6	–42,8	+6,6
Лейкоантоцианы	**+16,6**	–14,3	+4,4	–	+20,1
Сумма антоц. пигментов	**+4,0**	–14,3	–	–15,2	+16,3
Катехины	**+36,2**	**+37,7**	**+48,3**	**+73,7**	**+68,6**
Флавонолы	**+50,5**	–	**+75,9**	**+73,3**	**+86,7**
Сумма биофлавоноидов	**+17,8**	–	**+18,7**	**+12,9**	**+36,4**
Дубильные вещества	–13,7	–8,0	–20,2	–8,0	–24,1

Определение межрегиональных различий в содержании действующих веществ в плодах данного сорта во второй год наблюдений в подавляющем большинстве случаев обнаружило совпадение направленности данных различий, но с иной степенью их проявления, обусловленной контрастами погодных условий в годы исследований. Так, в северном регионе подтвердилось выявленное годом ранее более высокое, чем в южном регионе, содержание в плодах биофлавоноидов, составившее 13–36 % и обусловленное в основном активизацией биосинтеза флавонолов на 50–87 % и катехинов на 36–74 % на фоне преимущественного ингибирования на 14–43 % такового собственно антоцианов и отсутствия сходства с предыдущим сезоном в характере межрегиональных различий в накоплении в плодах дубильных веществ.

Вместе с тем в оба сезона все испытываемые агроприемы обусловили существенную трансформацию биохимического состава плодов клюквы крупноплодной, степень которой, как и в межрегиональных различиях, определялась не только химической природой органических соединений,

но и генотипом опытных растений. Так, в Смолевичском районе, в котором исследования проводили с двумя сортами клюквы, усиление минерального питания на фоне погодных условий сезона 2019 г. способствовало заметной активизации накопления в плодах дубильных веществ, главным образом, у раннеспелого сорта, что подтверждалось увеличением их содержания на 5–22 %, наибольшим при внесении Basacot Plus 6 и наименьшим в вариантах с применением МаКлоРа. У позднеспелого сорта клюквы стимулирующий эффект от использования удобрений в этом плане проявился лишь от внесения Basacot Plus 6 и 10 %-ного МаКлоРа, причем в Докшицком районе он подтвердился лишь при применении минерального удобрения, тогда как в остальных случаях значимых различий с контролем выявлено не было (табл. 3).

Таблица 3. Относительные различия вариантов полевого опыта с контролем по содержанию фенольных соединений в плодах *Oxycoccus macrocarpus* в районах исследований, %

Table 3. Relative differences between the variants of the field experiment by the content of phenolic compounds in the fruits of *Oxycoccus macrocarpus* in the study areas, %

Показатель	Варианты опыта			
	Basacot Plus 6	Экогум-комп.	5% МаКлоР	10% МаКлоР
2019 г.				
Смолевичский р-н Минской обл.				
Сорт ***Ben Lear***				
Собственно антоцианы	–4,1	**+34,5**	**+28,3**	–6,4
Лейкоантоцианы	**+22,1**	**+35,6**	**+15,7**	**+24,1**
Сумма антоциан. пигм.	**+15,3**	**+35,3**	**+19,0**	**+16,2**
Катехины	**+9,1**	–15,1	–	–16,7
Флавонолы	–	–	–11,5	**+5,6**
Сумма биофлавоноидов	**+12,3**	**+20,7**	**+11,6**	**+8,4**
Дубильные вещества	**+21,7**	**+16,4**	**+5,3**	**+8,2**
Сорт ***Stevens***				
Собственно антоцианы	**+131,4**	**+77,9**	**+65,7**	**+70,7**
Лейкоантоцианы	**+17,1**	–6,7	**+8,4**	**+6,3**
Сумма антоциан. пигм.	**+35,8**	**+7,1**	**+17,7**	**+16,8**
Катехины	–15,9	–5,1	–7,0	**+19,6**
Флавонолы	–15,5	–21,1	–12,8	–11,6
Сумма биофлавоноидов	**+16,9**	–	**+7,7**	**+12,8**

Окончание табл. 3

Показатель	Варианты опыта			
	Basacot Plus 6	Экогум-комп.	5% МаКлоР	10% МаКлоР
Докшицкий р-н Витебской обл.				
Сорт ***Stevens***				
Собственно антоцианы	–70,3	–18,6	–15,3	–11,9
Лейкоантоцианы	**+10,0**	**+4,7**	**+47,7**	**+51,3**
Сумма антоциан. пигм.	–	–	**+37,5**	**+41,0**
Катехины	–31,7	–	–6,9	–6,6
Флавонолы	–46,2	–	–16,0	**+5,7**
Сумма биофлавоноидов	–20,3	–	**+13,3**	**+19,2**
Дубильные вещества	**+8,1**	–	–4,4	–
2020 г.				
Смолевичский р-н Минской обл.				
Сорт ***Ben Lear***				
Собственно антоцианы	**+10,4**	**+20,8**	**+14,9**	**+6,5**
Лейкоантоцианы	**+11,2**	**+9,2**	**+20,9**	–9,3
Сумма антоциан. пигм.	**+10,9**	**+13,3**	**+18,8**	–3,6
Катехины	**+8,8**	**+7,8**	**+17,0**	**+35,4**
Флавонолы	–3,6	**+18,2**	**+32,1**	**+27,3**
Сумма биофлавоноидов	**+8,2**	**+12,6**	**+20,3**	**+11,2**
Дубильные вещества	**+23,6**	**+29,1**	**+25,3**	**+28,3**
Сорт ***Stevens***				
Собственно антоцианы	–32,9	–26,0	**+23,7**	–16,4
Лейкоантоцианы	**+18,3**	**+27,4**	**+16,1**	**+4,7**
Сумма антоциан. пигм.	–	**+9,5**	**+18,7**	–2,4
Катехины	–12,9	–10,7	–9,5	–18,1
Флавонолы	**+16,0**	–16,0	–8,5	–8,0
Сумма биофлавоноидов	–	–	**+8,2**	–7,1
Дубильные вещества	**+12,6**	**+12,0**	–	**+16,9**
Докшицкий р-н Витебской обл.				
Сорт ***Stevens***				
Собственно антоцианы	–27,0	–18,8	–10,1	**+13,0**
Лейкоантоцианы	–13,1	**+14,1**	–	**+7,8**
Сумма антоциан. пигм.	–16,6	**+5,7**	–3,2	**+9,2**
Катехины	–11,9	–2,8	**+15,4**	–
Флавонолы	–23,0	–	**+5,3**	**+14,1**
Сумма биофлавоноидов	–16,1	**+2,0**	**+3,6**	**+7,6**
Дубильные вещества	**+19,9**	**+3,5**	**+5,4**	**+2,8**

Примечание: Прочерк означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при $P < 0,05$.

В условиях сезона 2019 г. испытываемые агроприемы способствовали обогащению ягодной продукции биофлавоноидами по сравнению с контролем – на 8–21 % у сорта *Ben Lear* и на 8–17 % у сорта *Stevens*. При этом для первого таксона наиболее результативными были обработки Экогум-комплексом, для второго – внесение Basacot Plus 6. В более северном Докшицком районе также наблюдалось усиление накопления полифенолов в плодах сорта *Stevens* на 13–19 % относительно контроля, но только в вариантах опыта с использованием микробного препарата МаКлоР. При этом в обоих районах исследований применение Экогум-комплекса на растениях данного сорта оказалось абсолютно неэффективным.

Поскольку в составе Р-витаминного комплекса плодов *O. macrocarpus* доминирующая роль принадлежит антоциановым пигментам, являющимся основными источниками антиоксидантной активности, то в изменении их содержания на фоне испытываемых агроприемов нашли отражение основные закономерности, установленные для общего количества биофлавоноидов. При этом для обоих таксонов клюквы в Смолевичском районе были показаны сходные диапазоны варьирования отклонений от контроля суммарного содержания антоциановых пигментов в пределах 15–35 % у раннеспелого и 7–36 % у позднеспелого сорта при наибольшем эффекте в первом случае при обработках Экогум-комплексом, во втором – при внесении Basacot Plus 6. Вместе с тем у сорта *Stevens* наблюдалась более выраженная активизация биосинтеза собственно антоцианов, тогда как для сорта *Ben Lear* – лейкоантоцианов. Так, если увеличение содержания первых у раннеспелого сорта отмечено только при использовании 5 %-ного МаКлоРа и Экогум-комплекса и не превышало 28–35 % относительно контроля, то у позднеспелого сорта подобное увеличение имело место во всех без исключения вариантах опыта с применением удобрений и достигало 66–131 %. При этом для лейкоантоцианов была показана обратная картина – более выраженное усиление накопления у сорта *Ben Lear* – на 16–36 % против 6–17 % у сорта *Stevens*.

В более северном Докшицком районе в характере изменений содержания антоциановых пигментов в плодах этого сорта относительно контроля также проявилось выраженное сходство с установленным для общего количества биофлавоноидов, на что указывало усиление их накопления на 38–41 % только на фоне внесения препарата МаКлоР при отсутствии влияния на данный показатель остальных агроприемов. Но в отличие от Смолевичского района, здесь наблюдалось обогащение плодов лейкоантоцианами на 5–51 % на фоне их обеднения на 12–70 % собственно антоцианами (табл. 3).

Что касается катехинов и флавонолов, то у сорта Ben Lear при использовании органических удобрений (Экогум-комплекса и 10 %-ного МаКлоРа) установлено ингибирование биосинтеза первых на 15–17 % и отсутствие достоверного влияния на их содержание 5 %-ного МаКлоРа, тогда как внесение минерального удобрения стимулировало их накопление на 9 % относительно контроля. При этом противоположные по знаку достоверные изменения в содержании флавонолов в пределах 6–12 % были выявлены только в вариантах опыта с применением МаКлоРа. В отличие от раннеспелого, для позднеспелого сорта на фоне испытываемых

агроприемов было показано преимущественное снижение содержания и катехинов, и флавонолов (на 5–16 и 12–21 %) относительно контроля, и лишь внесение 10 %-ного МаКлоРа обусловило активизацию накопления первых почти на 20 % (табл. 3).

Аналогичные, но более выраженные негативные изменения в содержании данных групп полифенолов в плодах сорта *Stevens* были установлены и в более северном Докшицком районе, на что указывало преимущественное ослабление их биосинтеза на 7–32 и 16–46 %, по сравнению с контролем, причем обработки Экогум-комплексом не оказали значимого влияния на содержание всех компонентов биофлавоноидного комплекса плодов данного сорта.

На фоне погодных условий более прохладного и дождливого сезона 2020 г. в Смолевичском районе, как и годом ранее, позитивное влияние испытываемых агроприемов на биофлавоноидный комплекс плодов раннеспелого сорта клюквы проявилось более выразительно, нежели позднеспелого (см. табл. 3). При этом относительные размеры увеличения их содержания по сравнению с контролем варьировались в рамках эксперимента в сходных с предыдущим сезоном пределах – от 8 до 20 %, но наиболее выразительными они оказались не при внесении Экогум-комплекса, а при использовании 5 %-ного МаКлоРа. При этом обогащение плодов Р-витаминами происходило не только за счет антоциановых пигментов, как годом ранее, но и в результате активизации биосинтеза также флавонолов и катехинов. Так, если усиление минерального питания клюквы способствовало увеличению суммарного содержания в плодах антоциановых пигментов на 11–19 % по сравнению с контролем, то флавонолов и катехинов соответственно на 18–32 и 8–35 %. Наряду с этим пополнение фонда дубильных веществ во втором сезоне у сорта Ben Lear также было более значительным, чем в первом, и составляло 24–29 % (табл. 3).

У позднеспелого сорта клюквы активизация накопления полифенолов на 8 % выявлена лишь в единичном случае – при применении 5 %-ного МаКлоРа и обеспечивалась лишь усилением биосинтеза антоциановых пигментов на 19 % при ингибировании такового катехинов и флавонолов на 9–10 %, тогда как на фоне остальных агроприемов наблюдалось либо нивелирование различий с контролем в общем содержании биофлавоноидов, либо даже отставание от него в этом плане на 7 %. При этом заметных межсезонных различий в увеличении содержания дубильных веществ в плодах данного сорта не выявлено (табл. 3).

В условиях более северного Докшицкого района обогащение плодов сорта *Stevens* биофлавоноидами, как и годом ранее, обнаружено лишь на фоне применения органических удобрений, но имело менее выразительный характер, что подтверждалось весьма незначительным увеличением их общего количества (не более чем на 2–8 % по сравнению с контролем), тогда как внесение минерального удобрения ингибировало биосинтез всех компонентов Р-витаминного комплекса, наиболее значительное у собственно антоцианов и флавонолов. При этом, в отличие от предыдущего сезона, во всех вариантах опыта с применением удобрений имело место усиление накопления дубильных веществ на 3–20%, наибольшее при внесении минерального удобрения (табл. 3).

Различия темпов биосинтеза основных групп полифенолов в плодах клюквы крупноплодной на фоне испытываемых агроприемов заметно отразились на их долевом участии в составе Р-витаминного комплекса. Так, в условиях сезона 2019 г. в Смолевичском районе внесение удобрений способствовало существенной активизации биосинтеза антоциановых пигментов за счет ослабления таковой катехинов и флавонолов, что подтверждалось значительными сдвигами в соотношении их количеств по сравнению с контролем (табл. 4). При этом в антоциановом комплексе плодов раннеспелого сорта преимущественно активизировалось накопление лейкоантоцианов, тогда как в таковом позднеспелого – собственно антоцианов. Наиболее выразительно обозначенные сдвиги, величина которых достигала 7–10 %, проявились у первого таксона при использовании Экогум-комплекса и 10 %-ного МаКлоРа, тогда как у второго – при внесении Basacot Plus 6 и в меньшей степени 5 %-ного МаКлоРа.

Обращают на себя внимание весьма значительные межрегиональные различия в соотношении основных компонентов Р-витаминного комплекса плодов сорта *Stevens*. Так, в условиях более северного Докшицкого района во всех вариантах опыта наблюдалось увеличение в его составе относительной доли катехинов на 5–13 %, по сравнению со Смолевичским районом, при столь же выразительном ее уменьшении для суммарного количества антоциановых пигментов, обусловленном снижением доли собственно антоцианов при отсутствия подобных различий в долях лейкоантоцианов и флавонолов. На наш взгляд, обеднение плодов позднеспелого сорта клюквы окрашенными пигментами антоцианового комплекса может быть связано с большей продолжительностью периода их созревания в условиях северного региона даже при повышенных температурах воздуха в данном сезоне, что позволяет предположить предпочтительность культивирования здесь ранних сортов интродуцента. Тем не менее, в характере межвариантных различий сдвигов в составе Р-витаминного комплекса плодов сорта Stevens были выявлены сходные с установленными в Смолевичском районе закономерности при более выразительном их проявлении, особенно при внесении Basacot Plus 6 и препарата МаКлоР.

Вместе с тем в южном регионе в погодных условиях прохладного и дождливого сезона 2020 г. биофлавоноидный комплекс плодов сорта *Ben Lear* во всех вариантах опыта, особенно при использовании органических удобрений, характеризовался существенно меньшим (на 7–20 %) по сравнению с предыдущим сезоном долевым участием антоциановых пигментов, что было связано исключительно со снижением доли лейкоантоцианов при незначительном увеличении таковой собственно антоцианов (табл. 4). Данные изменения в составе Р-витаминного комплекса плодов раннеспелого сорта сопровождались заметным усилением в нем роли катехинов и в меньшей степени флавонолов. При этом не было выявлено существенных межвариантных различий в соотношении компонентов данного комплекса. Лишь на фоне внесения 10 %-ного МаКлоРа наблюдалось снижение в нем доли лейкоантоцианов на 7 % по сравнению с контролем при увеличении таковой катехинов и флавонолов.

Таблица 4. Долевое участие основных групп биофлавоноидов в составе Р-витаминного комплекса плодов *Oxycoccus macrocarpus* в вариантах полевого опыта в районах исследований, %

Table 4. Fractional participation of the main groups of bioflavonoids in the composition of the P-vitamin complex of the fruits of *Oxycoccus macrocarpus* in field experiments in the study areas, %

Вариант опыта	Собств. антоц.	Лейко-антоц.	Сумма антоц. пигм.	Катехи-ны	Флавоно-лы
2019 г.					
Смолевичский район Минской области					
Сорт ***Ben Lea***r					
1 – Контроль	17,2	49,0	66,2	19,0	14,8
2 – Basacot Plus 6	14,7	53,3	68,0	18,5	13,5
3 – Экогум-комп.	19,2	55,1	74,3	13,4	12,3
4 – 5 % МаКлоР	19,8	50,8	70,6	17,7	11,7
5 – 10 % МаКлоР	14,9	56,2	71,1	14,6	14,3
Сорт ***Stevens***					
1 – Контроль	10,3	52,9	63,2	20,5	16,3
2 – Basacot Plus 6	20,4	53,1	73,5	14,8	11,7
3 – Экогум-комп.	18,4	49,4	67,8	19,4	12,8
4 – 5 % МаКлоР	15,9	53,3	69,2	17,7	13,1
5 – 10 % МаКлоР	15,6	49,9	65,5	21,8	12,7
Докшицкий район Витебской области					
Сорт ***Stevens***					
1 – Контроль	8,0	41,3	49,3	32,0	18,7
2 – Basacot Plus 6	3,0	56,9	59,9	27,5	12,6
3 – Экогум-комп.	6,5	43,4	49,9	31,4	18,7
4 – 5 % МаКлоР	6,0	53,8	59,8	26,3	13,9
5 – 10 % МаКлоР	5,9	52,4	58,3	25,1	16,6
2020 г.					
Смолевичский район Минской области					
Сорт ***Ben Lear***					
1 – Контроль	21,1	37,8	58,9	26,2	14,9
2 – Basacot Plus 6	21,6	38,8	60,4	26,4	13,2
3 – Экогум-комп.	22,7	36,6	59,3	25,1	15,6
4 – 5 % МаКлоР	20,2	38,0	58,2	25,5	16,3
5 – 10 % МаКлоР	20,3	30,8	51,1	32,0	17,0

Окончание табл. 4

Вариант опыта	Собств. антоц.	Лейко-антоц.	Сумма антоц. пигм.	Катехи-ны	Флавоно-лы
Сорт ***Stevens***					
1 – Контроль	20,8	41,5	62,3	26,0	11,7
2 – Basacot Plus 6	14,1	49,4	63,5	22,8	13,7
3 – Экогум-комп.	15,2	52,2	67,4	22,9	9,7
4 – 5 % МаКлоР	23,9	44,5	68,4	21,7	9,9
5 – 10 % МаКлоР	18,7	46,8	65,5	22,9	11,6
Докшицкий район Витебской области					
Сорт ***Stevens***					
1 – Контроль	13,9	41,1	55,0	30,0	15,0
2 – Basacot Plus 6	12,1	42,6	54,7	31,6	13,7
3 – Экогум-комп.	11,1	45,9	57,0	28,6	14,4
4 – 5 % МаКлоР	12,1	39,3	51,4	33,4	15,2
5 – 10 % МаКлоР	14,6	41,2	55,8	28,3	15,9

Заметим, что у позднеспелого сорта клюквы не было выявлено столь выраженных, как у раннеспелого, межсезонных различий в соотношении компонентов биофлавоноидного комплекса плодов, причем в вариантах опыта с применением органических удобрений были показаны аналогичные установленным годом ранее изменения их долевого участия в составе данного комплекса. Если в предыдущем сезоне усиление в нем позиций антоциановых пигментов относительно контроля было обусловлено активизацией накопления главным образом собственно антоцианов, то во втором сезоне – лейкоантоцианов при одновременном снижении доли собственно антоцианов, катехинов и флавонолов.

Как видим, в южном районе исследований соотношение ключевых компонентов биофлавоноидного комплекса плодов сорта *Stevens* в основном определялось уровнем агрохимического обеспечения растений и слабо зависело от гидротермического режима сезона, тогда как для сорта *Ben Lear* определяющее значение в этом плане имели погодные условия вегетационного периода.

В условиях более северного Докшицкого района суммарная доля антоциановых пигментов в составе Р-витаминного комплекса плодов сорта Stevens на 7–10 % уступала таковой в Смолевичском районе, что было обусловлено ослаблением позиций как собственно антоцианов, так и лейкоантоцианов, при усилении таковых катехинов и флавонолов (табл. 4). При этом, в отличие от южного региона, здесь не выявлено значительных межвариантных различий долевого участия данных соединений в составе биофлавоноидного комплекса плодов этого сорта, что также наблюдалось в Смолевичском районе у раннеспелого сорта.

Как было показано выше, погодные условия вегетационного периода оказывали существенное влияние на проявление межрегиональных различий в биохимическом составе плодов клюквы крупноплодной. В связи с этим логично предположить значительную роль данного фактора также в изменении его количественных характеристик при использовании удобрений. Поскольку вегетационные сезоны 2019 и 2020 гг. существенно различались между собой по гидротермическому режиму, следовало ожидать и определенных межсезонных различий в темпах биосинтеза в плодах органических соединений на фоне испытываемых агроприемов. Вместе с тем сравнительный анализ за 2019 и 2020 гг. в большинстве случаев показал заметное сходство в годы наблюдений профилирующих тенденций в изменении относительно контроля биохимических характеристик в вариантах опыта с использованием удобрений, наиболее выраженное при обработках Экогум-комплексом. Несмотря на одновекторную направленность данных изменений, тем не менее, в 2020 г. степень их проявления у отдельных показателей заметно отличалась от установленной в предыдущем сезоне, особенно в северном регионе, вплоть до смены знака на противоположный, что, на наш взгляд, связано с различиями погодных условий в годы исследований.

Как видим, применение испытываемых видов удобрений способствовало существенной трансформации биохимического состава плодов модельных сортов клюквы крупноплодной, на что указывали весьма выразительные различия соответствующих вариантов опыта с контролем в содержании исследуемых соединений, которые лишь в отдельных случаях не получили статистического подтверждения.

Заключение. В результате сравнительного исследования в 2019–2020 гг. в опытной культуре на рекультивируемых участках выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений верхового типа в Смолевичском районе Минской области и в расположенном на 250 км севернее Докшицком районе Витебской области содержания фенольных соединений в плодах сортов *Ben Lear* и *Stevens* клюквы крупноплодной на фоне внесения минерального удобрения Basacot Plus 6 и микробного препарата МаКлоР в 5- и 10 %-ной концентрациях, а также некорневых обработок Экогум-комплексом установлена существенная зависимость степени влияния испытываемых агроприемов на темпы биосинтеза Р-витаминов и дубильных веществ от генотипа растений, географического и метеорологических факторов. Показано, что жаркая и засушливая погода сезона 2019 г. способствовала преимущественному обогащению ягодной продукции клюквы на 5–22 % дубильными веществами, а также на 8–21 % Р-витаминами при наибольшей результативности в Смолевичском районе для раннеспелого сорта применения Экогум-комплекса, для позднеспелого – внесения Basacot Plus 6, а в Докшицком районе – микробного препарата МаКлоР. При этом трансформация биофлавоноидного комплекса плодов была обусловлена активизацией на 7–35 % биосинтеза антоциановых пигментов при его ингибировании, особенно у позднеспелого сорта, на 7–46 % у катехинов и флавонолов,

наиболее значительном в северном регионе при внесении минерального удобрения.

На фоне преобладания умеренно прохладной и дождливой погоды вегетационного периода 2020 г. усиление минерального питания в Смолевичском районе способствовало обогащению плодов раннеспелого сорта Р-витаминами на 8–20 % не только за счет активизации биосинтеза антоциановых пигментов, но и за счет таковой флавонолов и катехинов при более выраженном, чем годом ранее, увеличении содержания дубильных веществ. У позднеспелого сорта пополнение фонда Р-витаминов на 8 % выявлено лишь в единичном случае - при применении 5 %-ного МаКлоРа, оказавшемся наиболее эффективным в данном сезоне также для раннеспелого сорта.

В условиях более северного Докшицкого района обогащение плодов сорта *Stevens* биофлавоноидами, как и годом ранее, обнаружено лишь на фоне применения органических удобрений, но проявилось менее выразительно, тогда как внесение минерального удобрения ингибировало биосинтез всех компонентов Р-витаминного комплекса, наиболее значительно у собственно антоцианов и флавонолов. При этом, в отличие от предыдущего сезона, наблюдалось усиление накопления дубильных веществ, особенно при внесении минерального удобрения.

Испытываемые агроприемы приводили к сдвигам соотношения основных компонентов Р-витаминного комплекса плодов относительно контроля в пределах 7–10 %, обусловленным различиями темпов их биосинтеза и проявившимся с наибольшей выразительностью в условиях сезона 2019 г. у сорта *Ben Lear* при использовании Экогум-комплекса и 10 %-ного МаКлоРа, а у сорта Stevens – при внесении Basacot Plus 6 и в меньшей степени 5 %-ного МаКлоРа. С продвижением на север отмечено увеличение в составе Р-витаминного комплекса плодов относительной доли катехинов на 5–13 % при столь же выразительном ее уменьшении у антоциановых пигментов за счет снижения доли собственно антоцианов и при отсутствии подобных различий в долевом участии лейкоантоцианов и флавонолов.

Погодные условия прохладного и дождливого сезона 2020 г. при использовании удобрений, особенно органических, способствовали существенному снижению (на 7–20 %) по сравнению с предыдущим сезоном долевого участия антоциановых пигментов в составе биофлавоноидного комплекса плодов сорта *Ben Lear* при заметном усилении в нем роли катехинов и в меньшей степени флавонолов, на фоне отсутствия существенных межвариантных различий в соотношении данных компонентов. У позднеспелого сорта не выявлено столь выраженных, как у раннеспелого, межсезонных различий в соотношении компонентов Р-витаминного комплекса, в котором использование органических удобрений обусловливало сходное в оба сезона усиление позиций лейкоантоцианов при одновременном ослаблении таковых собственно антоцианов, катехинов и флавонолов. Это позволяет заключить, что в южном районе исследований соотношение ключевых компонентов биофлавоноидного комплекса

плодов сорта Stevens в основном определялось уровнем агрохимического обеспечения растений и слабо зависело от гидротермического режима сезона, тогда как для сорта *Ben Lear* определяющее значение в этом плане имели погодные условия вегетационного периода. В более северном Докшицком районе у плодов сорта *Stevens* общая доля антоциановых пигментов в составе биофлавоноидного комплекса на 7–10 % уступала таковой в Смолевичском районе при ее увеличении у катехинов и флавонолов на фоне отсутствия заметного влияния испытываемых агроприемов на соотношение основных компонентов Р-витаминного комплекса.

Литература

1. Эффективность микробных удобрений при возделывании голубики на выработанных торфяниках Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.].– Минск: Беларуская навука, 2020. – 236 с.

2. Swain, T. The phenolic constituents of Prunus Domenstica. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // J. Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68.

3. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. 3 Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.

4. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной. / В. Ю. Андреев [и др.] // Фармация, 2013.– № 3.– С. 19–21.

5. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум / Калинингр. ун-т. Авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград, 2000. – 59 с.

6. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987. – 430 с.

7. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. – Введен 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.

Поступила в редакцию 03.11.2021 г.

УДК 581.1

С. В. СУХОВЕЕВА, Е. М. КАБАЧЕВСКАЯ, И. Д. ВОЛОТОВСКИЙ

ГРАВИТРОПНАЯ И НАСТИЧЕСКАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ В НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ ТОМАТА

Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: suhoveevalmbc@mail.ru

Аннотация. Исследовали влияние гравистимуляции на семядольные листья 13-дневных проростков и стебли 13-дневных и 50-дневных растений томата. Проведен анализ расположения семядольных листьев томата в темноте и на свету. В темноте определен временной интервал настических движений листьев и движения листьев при отрицательном гравитропизме. Выявлены гравитропические движения листьев томата.

Ключевые слова: гравитропизм, томат, настические движения, настии, семядольные листья

S. V. SUKHAVEYEVA, A. M. KABACHEVSKAYA, I. D. VOLOTOVSKI

GRAVITROPIC AND NASTIC MOVEMENTS IN ABOVE-GROUND ORGANS OF TOMATO PLANTS

Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: suhoveevalmbc@mail.ru

Annotation. Influence of gravistimulation on the cotyledons of 13-day-old seedlings and stems of 13-day and 50-day-old tomato plants was estimated. An analysis of the arrangement of tomato cotyledons in the dark and in the light was carried out. The time interval of nastic movements of cotyledons and movement of cotyledons with negative in the dark was determ Gravitropic movements of tomato cotyledons are revealed.

Keywords: gravitropism, tomato, nastic movements, nastia, cotyledons

Введение. Для оптимизации основных процессов жизнедеятельности растения проявляют различные типы двигательной активности, к которым относятся настии и тропизмы.

Настии – движения органов растений (например, листьев, лепестков) в ответ на изменение ненаправленно действующих факторов внешней среды, возникающие в результате либо неравномерного роста клеток, расположенных на верхней и нижней сторонах органа (ростовые настии), либо изменения тургора в специализированных моторных клетках (тургорные настии). В случае ростовых настий орган при более быстром росте верхних клеток изгибается вниз (эпинастии), при ускоренном росте клеток нижней стороны – вверх (гипонастии). Тургорные настические движения листьев обеспечиваются специализированными образованиями, подушечками, в сочленениях между стеблем и черешком, между черешком и пластинкой листа, между листочками сложного листа. Вокруг сосудистого пучка подушечки располагаются так называемые моторные клетки. Моторные клетки бывают двух типов: разгибатели (экстензоры) и сгибатели (флексоры). Клетки разгибателей увеличивают давление

тургора во время открытия растительных органов и уменьшают его во время их закрытия, в то время как клетки сгибателей уменьшают давление тургора во время открытия и увеличивают его во время закрытия. Это становится возможным благодаря изменению потоков осмотически активных веществ в разных типах моторных клеток [1]. Если экстензорные клетки находятся снизу подушечки, то листья при действии того или иного фактора опускаются; если экстензоры локализованы вверху подушечки, то листья будут складываться вверх [2].

Тропизмы – ростовые изгибы органа растения, возникающие в результате действия односторонне направленных факторов окружающей среды. При положительных тропизмах изгиб формируется в сторону действующего раздражителя, при отрицательном - от него. Движение органа, направленное под определенным углом к источнику раздражения, называют плагиотропизмом, если этот угол равен 90° – диатропизмом [3].

Движение органов растений с помощью направленного роста под действием гравитационного поля называют гравитропизмом. Положительно гравитропными являются главные корни растений, ризоиды водорослей, печеночных мхов, проталломы папоротников. Отрицательно гравитропными − главные побеги, спорангиеносцы мукоровых грибов, плодовые тела многих шляпочных грибов. Для боковых корней первого порядка характерен диагравитропизм или плагиогравитропизм. Боковые ветви и листья также диагравитропны или плагиогравитропны. Боковые корни второго порядка обычно не восприимчивы к действию гравитации, то есть агравитропны.

Гравитропические изгибы формируются в результате различной интенсивности роста клеток на противоположных сторонах органа. Из этого следует, что формировать гравитропический ответ могут способные к росту зоны растений. Многое из того, что известно о реакции растений на гравитацию, получено из исследований травянистых однолетних растений, у которых гравитационные реакции зависят от удлинения клеток растяжением. Однако клетки одревеснеших древесных стеблей не могут подвергаться удлинению. Вместо этого гравистимулированные древесные ветви и стебли подвергаются асимметричному радиальному росту с образованием так называемой “реакционной древесины”. У голосеменных растений реакционная древесина называется древесиной сжатия и образуется на нижней стороне стебля, где она создает сжимающую силу, чтобы подтолкнуть стебель вверх. У покрытосеменных растений реакционная древесина называется древесиной растяжения и образуется на верхней стороне гравистимулированных стеблей, где она создает растягивающую силу, которая тянет стебель вверх [4]. Нарушение отрицательного гравитропизма характерно для боковых ветвей «плакучих форм» растений, что может быть связано с мутациями в генах, связанных с фитогормоном гиббереллином, играющим важную роль формировании реакционной древесины.

Изгибание побегов начинается в верхней части, а затем распространяется в базальном направлении до момента, пока стебель, после не-

скольких колебательных движений, не примет вертикальное положение. Закон Сакса, гласит, что локальная скорость искривления зоны роста реагирует на ориентацию побега, что приводит к наиболее сильной реакции в горизонтальных областях и наиболее слабой - в вертикальных [5]. Это приводит к колебаниям, аналогичным колебаниям в системах управления с незатухающей обратной связью. Также растения и грибы обладают проприоцептивным чувством, иногда называемым аутотропизмом или гравитроприоцепцией, который заставляет их расти прямо в отсутствие каких–либо стимулов [6]. Этот механизм выпрямления не зависит от типа или направления индуцирующего стимула и наблюдается всякий раз, когда в растении индуцируется искривление.

Гравитропический ответ можно разделить на три этапа: восприятие гравитационного сигнала, трансдукция сигнала, ростовая реакция. Гравитационный сигнал воспринимается специализированными растительными клетками – статоцитами. Внутри статоцитов расположены специфические тяжелые частицы – статолиты (в роли которых обычно выступают амилопласты), перемещение которых под действием силы тяжести внутри статоцита запускает процесс восприятия гравитационного сигнала [7]. Накоплен довольно большой объем научных знаний о механизмах развития гравитропического ответа в стеблях и корнях на примере *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh [8, 9, 10, 11].

Между тем, знания о развитии гравитропической реакции в листьях практически отсутствуют. Имеется единичные исследования, такие как работа E. Mano в 2006 г. по расположению розеточных листьев арабидопсиса при гравистимуляции [12]. Не ясно под каким углом может располагаться черешок листа относительно оси побега при гравистимуляции у других видов растений. Не установлено, какие из органов надземной части растений реагирует быстрее на гравистимул: стебель или листья. Эти данные важны для понимания механизмов развития ответа при гравистимуляции на уровне целостного растительного организма.

Целью исследования стало проведение анализа двигательной активности в листьях и стеблях растений томата при гравистимуляции. Для оценки влияния затемнения на расположение листьев томата оценивали также динамику движения листьев (возможные настические движения) в темноте.

Объекты (материалы) и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали 13- и 50-дневные растения томата сорта «Л1». Растения выращивали на полихроматическом белом свету (40 Вт, 150 мкмоль $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ с$^{-1}$), с фотопериодом 16 ч света/8 ч темноты, при температуре 24 °С.

Гравистимуляция растений проводилась путем поворота растений на 90° относительно гравитационного вектора Земли. В горизонтальном положении растения выдерживались различные интервалы времени (в пределах от 15 мин до 24 ч). Известно, что развитие гравитропической реакции может зависеть от других факторов окружающей среды, воздействующих на растения. Например, свет способен может модулировать

реакцию гравитропизма в стеблях. Так как свет для растения является важнейшим внешним фактором, то у растения будет превалировать фототропизм над гравитропизмом. Поэтому перед началом гравистимуляции растения помещались в темноту на 24 ч для их адаптации к темноте [13]. На протяжении этого периода проводились исследования настических движений в листьях 13-дневных проростков томата. Дополнительную контрольную группу составили 13-дневные проростки, для которых в этот же промежуток времени определяли угол между черешками семядолей на свету.

Фотоснимки надземной части растений были получены с использованием камеры Canon EOS 750D. Фотосъемка экспериментальных групп растений проводилась без вспышки на неактивном для фоторецепторов растений тусклом зеленом свету (лампа накаливания 15 Вт, стеклянный светофильтр с максимумом пропускания 470–605 нм, 0,45 мкмоль · $м^{-2}$ · $с^{-1}$).

Для автоматизации и анализа морфологических изменений при изгибе стеблей и угла между черешками листьев растений во время формирования ответной реакции на действие гравистимула использовалась программа для обработки изображений в области медицинских и биологических исследований ImageJ 1.37v и Adobe Photoshop CS6.

Угол изгиба стеблей при гравистимуляции в промежутки времени 0,5, 1, 3, 6, 24 ч был определен в ImageJ 1.37v как угол, образованный между поднимающимся вверх при формировании ответа на гравистимул апикальным концом стебля и горизонтально располагающейся частью стебля, которая оставалась неподвижной в исследуемые периоды времени. Движение листьев оценивалось путем измерения внутреннего угла Q между двумя черешками семядольных листьев.

В статье представлены результаты экспериментов в 3-5-ти биологических повторностях. Статистически достоверными признавались данные при величине $P < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Двигательная активность семядольных листьев томата представлена на рисунках 1 и 2.

Обнаружено, что при росте растений на полихроматическом белом свету в отсутствии гравистимуляции положение их семядольных листьев существенно не менялось в течение двух суток наблюдений (угол между черешками семядольных листьев претерпевал колебательные изменения в диапазоне от 96,06°±3,38° до 88,95°±5,58°). После перемещения проростков томата в темноту (без поворота горизонтально) их семядольные листья начинали двигаться вверх, в результате чего угол Q между черешками листьев проростков уменьшался от 96,06°±3,38° до 61,00°±5,99° уже через 6 часов воздействия темноты и далее, до 24 часов нахождения в темноте, оставался неизменным. Через 24 ч после помещения проростков в темноту они подвергались воздействию гравистимуляции путем поворота горизонтально. Начиная с 30 мин, угол Q между черешками семядольных листьев заметно уменьшался и через 3 ч гравистимуляции составлял 32,02°±2,79°. В дальнейшем, через 6 и 24 ч было зарегистрировано обратное увеличение внутреннего угла между черешками листьев

проростков, который составил 44,6°±2,79° и 44,85°±2,56° через соответствующие временные интервалы.

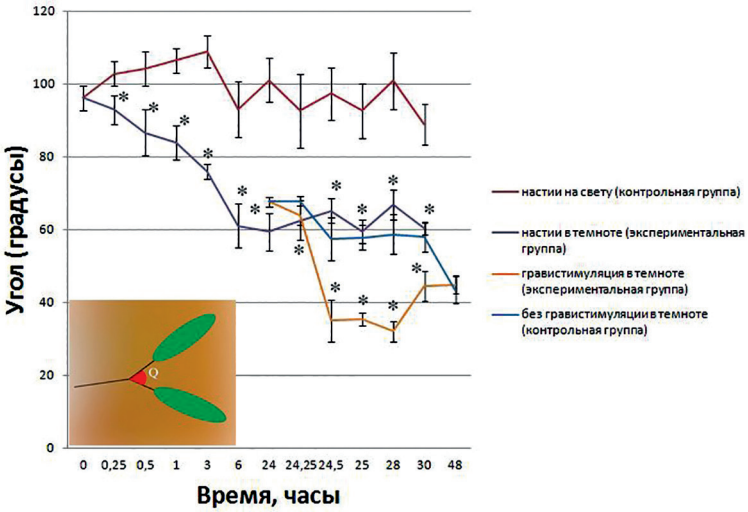


Рис. 1. Динамика движения семядольных листьев проростков томата при формировании гравитропического ответа и настических движениях. Сравнивалась экспериментальная группа растений с контрольной.
Примечание: * – статистически достоверными признавались данные при $P < 0,05$

Fig. 1. Movement dynamics of tomato cotyledons with gravitropic response and nastias. The experimental group of plants was compared with the control.
Note: * – significant difference $P < 0,05$

В ходе проведенных экспериментов исследовали также изменения угла изгиба стеблей растений томата различного возраста и скорость этих изменений при гравистимуляции в течение периода времени 0–24 ч (рис. 3).

В период времени гравистимуляции от 0 до 1 ч статистически достоверных изменений угла изгиба стеблей томата не выявлено. В период времени от 1 до 3 ч у 50-дневных растений наблюдалась наибольшая скорость изгиба стебля томатов – 19,2º±0,45º/ч и средний угол наклона стебля изменился от 162,27±1,75º до 123,9º±1,24º), а у13-дневных растений при скорости 21,86°±1,21°/ч средний угол наклона стебля изменился от 176,82°±3,53° до 133,1°±6,84°. В промежуток времени между 3 и 6 ч скорость изгиба стеблей 50-дневных томатов составила 3,8°±1,52°/ч ,при этом средний угол наклона изменился от 123,9º±1,24 до 112,65º±0,68), а у 13-дневных растений при скорости 5,36°±1,5°/ч средний угол наклона изменился от 133,1°±6,84° до 117,02°±4,49°. Наименьшая скорость изги-

ба стебля наблюдалась между 6 и 24 ч гравитропического воздействия: при скорости 0,62° ± 0,19°/ч средний угол наклона стебля изменился от 112,65 ± 0,68º до 101,57º ± 1,39º, у взрослых растений при скорости 0,69° ± 0,3°/ч средний угол наклона стебля изменился у проростков от 117,02°±4,49° до 104,7°±3,27°.

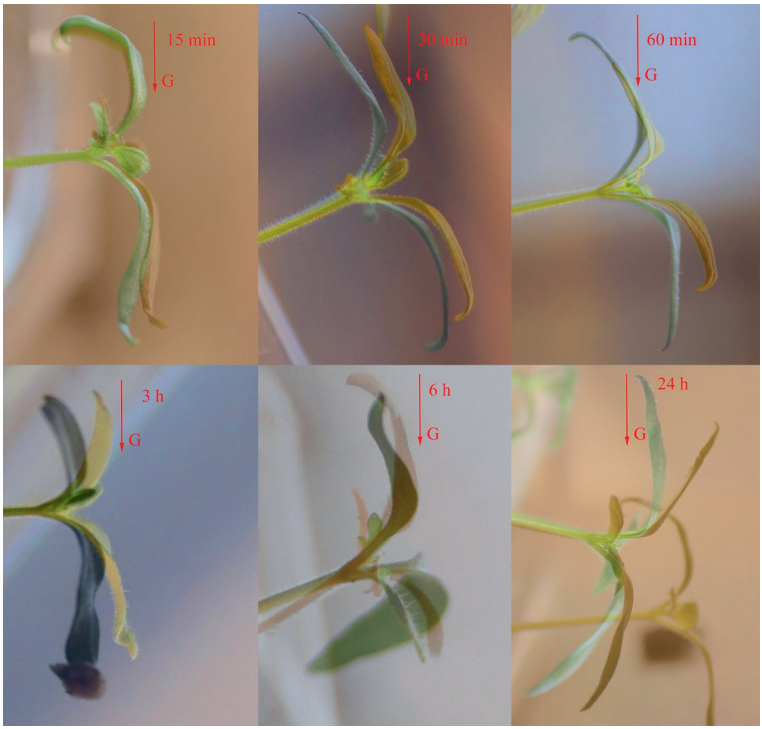


Рис. 2. Движение черешков и листовых пластинок проростков томата в момент формирования гравитропического ответа

Примечание: Для идентификации изменения положения черешков листьев в пространстве фотоснимки одного и того же растения до и после воздействия гравистимуляции соединялись в единое изображение в программе Adobe Photoshop CS6 – растения до воздействия гравистимула на фотографии зеленого цвета, после гравистимуляции – желто-оранжевого цвета.

Fig. 2. Movement of the petioles and leaf blades of tomato seedlings with gravitropic response

Note: To identify the change in the position of leaf petioles in space, the photographs were processed in the Adobe Photoshop CS6 program. Plants before the effect of the gravistimulus on the photographs were green, and after the gravistimulation, they were yellow-orange.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что на свету, без применения дополнительных факторов воздействия, двигательная активность семядольных листьев томата незначительна и, вероятно, является проявлением реакции проприоцепции. После перемещения растений в темноту черешки семядолей начинали подниматься вверх и угол Q между ними уменьшался, причем эти изменения происходили в первые 6 часов затемнения, входящих в период естественной ночи (см. Материалы и методы), то есть эти движения являются одним из проявлений суточных циркадных ритмов растения.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что на свету, без применения дополнительных факторов воздействия, двигательная активность семядольных листьев томата незначительна и, вероятно, является проявлением реакции проприоцепции. После перемещения растений в темноту черешки семядолей начинали подниматься вверх и угол Q между ними уменьшался, причем эти изменения происходили в первые 6 часов затемнения, входящих в период естественной ночи (см. Материалы и методы), то есть эти движения являются одним из проявлений суточных циркадных ритмов растения.

В условиях продолжения действия темноты сверх естественного ночного периода дополнительных изменений угла между черешками не происходило как минимум до 30 ч темноты. При повороте проростков горизонтально на вторые сутки нахождения их в темноте угол между черешками семядольных листьев значительно уменьшался по сравнению с таковым для семядолей в контрольной находящейся в темноте, но не гравистимулированной группе растений. Эти данные позволяют говорить о том, что листья реагировали именно на изменение положения в пространстве, а не на затемнение, то есть проявляли отрицательный гравитропизм, как и стебли, которые в тот же период гравистимуляции формировали изгиб. Сходные движения зафиксированы также для розеточных листьев арабидопсиса [12]. Движения листьев томата вверх в первые часы затемнения без гравистимулирования можно рассматривать как настические, например, как проявление никтинастий. Но, с другой стороны, обычно никтинастии протекают более быстро, а листья при этом практически полностью складываются [14]. В случае же семядолей томата сближение происходит, но все же угол Q остается достаточно большим, на уровне 60°. Возможно, это движение листьев является проявлением автотропизма, заставляющим органы растения занимать определенное положение относительно оси побега. Также нельзя исключить трактовку этих начальных движений в темноте как отрицательный гравитропизм листьев в условиях неактивного фототропизма (гравитпроприоцепции). Этот вариант частично подтверждается дополнительным сближением листьев на фоне гравистимуляции, вызванной поворотом растений набок.

Сфотографировать настические и гравитропические движения листьев взрослых растений имеющимися у нас методами не удалось. Возможно, это связано со сложным строением взрослых листьев и их изначальной нерегулярной ориентацией даже на свету, так что здесь потребуется более чувствительная фотографическая техника. Так же в своей

публикации E. Mano и др. высказывают мнение, что у листьев проростков настии могут быть выражены в большей степени, чем у взрослых растений. Между тем, скорее всего, взрослые листья, также как и семядольные, проявляют гравитропические движения.

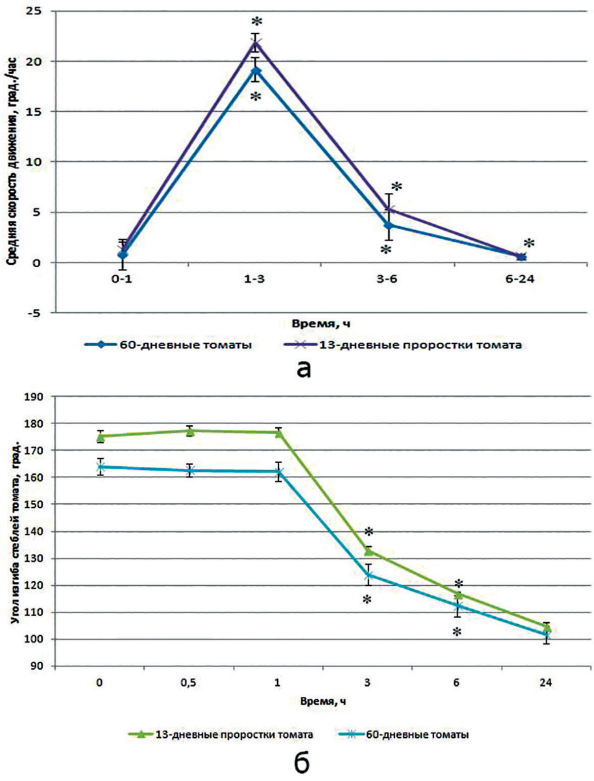


Рис. 3. Двигательная активность стеблей растений томата в момент формирования гравитропического изгиба: а – угол изгиба стеблей в зависимости от времени гравистимуляции, б – скорость формирования угла изгиба стеблей
Примечание: * – статистически достоверными признавались данные при величине $P < 0,05$. Сравнение проводилось относительно группы экспериментальных растений из предыдущего интервала времени при гравистимуляции.

Fig. 3. Movement dynamics of tomato plant stems with gravitropic bending: a – gravitropic bending depending on time, b – rate of formation of gravitropic bending of stems
Note: * – significant difference $P < 0,05$. The comparison was made with respect to the group of experimental plants from the previous time interval during gravistimulation.

Следует отметить, что статистически достоверные изменения угла между черешками семядольных листьев наблюдались уже через 30 мин воздействия гравистимула, а изменения угла изгиба стебля были зарегистрированы позже − через 1 ч воздействия как у 13-дневных, так и у 50-дневных растений томата.

Таким образом, полученные данные указывают на то, что к гравистимуляции чувствительны не только стебель растения, но и листья, причем их ответ начинается даже раньше, чем ответ стеблей, что, по-видимому, позволяет надземной части растения быстро адаптироваться к изменениям пространственного положения и восстанавливать нормальную ориентацию в пространстве. Сходная чувствительность листьев и стеблей к гравитации, скорее всего, связана с их одинаковым происхождением из апикальной меристемы.

Заключение. Проведенное исследование можно отнести к одному из первых о двигательной активности листьев при гравистимуляции. Полученные данные расширяют представление о формировании ответа на гравистимул у растения на уровне целостного организма, а не его отдельных органов.

Литература

1. Minoru, U. Chemical Basis of Plant Leaf Movement / U. Minoru, N. Yoko // Plant Cell Physiol. – 2007. – Vol. 48, iss. 7. – P. 900–907.

2. Полевой В. В. Способы движения растений / В. В.Полевой // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – №1. – С. 21–27.

3. Ботаника. В 4 томах. Том 2. Физиология растений / П. Зитте и др. – М.: Academia, 2008. – 496 с.

4. Transcriptional and Hormonal Regulation of Gravitropism of Woody Stems in Populus. / S. Gerttula [et al.] // Plant Cell.– 2015. – Vol. 27, iss.10. – P. 2800–2813.

5. Chelakkot, R. On the growth and form of shoots / Chelakkot R., Mahadevan L. // J. R. Soc. Interface. – 2017. – Vol. 14, iss.128. – P. 20170001.

6. Unifying model of shoot gravitropism / R. Bastien [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2013. – Vol. 110 iss. 2. – P. 755–760.

7. Molecular mechanisms of gravity perception and signal transduction in plants / Y. S Kolesnikov [et al.] // Article in Protoplasma. – 2016. – Vol. 253, iss. 4. – P. 987–1004.

8. Okada, K. Mutational analysis of root gravitropism and phototropism of Arabidopsis *thaliana* seedlings / K. Okada, Y. Shimura // J. Plant Physiol. – 1992. – Vol. 19. – P. 439–448.

9. Gravitropic response of inflorescence stems in Arabidopsis thaliana / H. Fukaki [et al.] // Plant Physiol. – 1996. – Vol. 110. – P. 933–943.

10. The endodermis and shoot gravitropism / M. Tasaka [et al.] //Trends Plant Sci. – 1999.– Vol. 4. – P. 103–107.

11. Gravity sensing and signaling / M. Terao-Morita [et al.] // Curr. Opin. Plant Biol. – 2004. – Vol. 7. – P. 712–718.

12. Gravitropism in Leaves of Arabidopsis thaliana (L.) Heynh / E. Mano [et al.] // Plant Cell Physiol. – 2006. – Vol. 47, iss (2) – P. 217–223.

13. Maxwell, K. Chlorophyll fluorescence – a practical guide / K. Maxwell, G. N. Johnson // Journal of Experimental Botany. – 2000. – Vol.51, iss. 345. – P. 659–668.

14. Rapid movements in plants / E. Mano [et al.] // Journal of Plant Research. – 2001. – Vol.134. – P. 3–17.

Поступила в редакцию 15.10.21 г.

УДК 630*443.2*414

В. П. ШУКАНОВ, И. А. МАШКИН, Е. В. МЕЛЬНИКОВА,
Л. А. КОРЫТЬКО, С. Н. ПОЛЯНСКАЯ

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ БОЛЕЗНЕУСТОЙЧИВОСТИ ДВУЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ ЕЛИ (*PICEA ABIES* L.) ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, e-mail: patphysio@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты опытов по выращиванию сеянцев ели европейской (*Picea abies* L.) в условиях открытого грунта, при их комплексной обработке тритерпеновыми регуляторами роста Экосил Микс и Экосил Плюс, получаемыми на основе экстракта пихты сибирской (*Abies sibirica* Mill.). Для выявления действия препаратов на болезнеустойчивость сеянцев определяли содержание продуктов перекисного окисления липидов мембран растений и их целостность, количество и соотношение пигментов фотосинтеза. Показано, что наиболее эффективной оказалась предпосевная инкрустация семян регулятором роста Экосил Микс и фунгицидом Винцит Форте.

Ключевые слова: ель европейская, семена, предпосевная обработка, сеянцы с открытой корневой системой, внекорневая обработка, регуляторы роста, фунгициды, пигменты фотосинтеза, перекисное окисление липидов, мембраны клеток.

V. P. SHUKANOV, I. A. MASHKIN, E. V. MELNIKOWA,
L. A. KORYTSKO, S. N. POLYANSKAYA

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL FEATURES OF INCREASING DISEASE RESISTANCE OF SPRUCE SEEDLINGS (*PICEA ABIES* L.) UNDER THE INFLUENCE OF TREATMENT WITH NATURAL GROWTH REGULATORS

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

Annotation. The article presents the results of experiments on growing seedlings of European spruce (*Picea abies* L.) in open ground, with their complex treatment with triterpene growth regulators Ecosil Mix and Ecosil Plus, which are obtained from Siberian fir (*Abies sibirica* Mill.) extract. To reveal the effect of drugs on the disease resistance of seedlings, the content biochemical parameters as the amount of lipid peroxidation products and the integrity of cell membranes, as well as the amount and ratio of photosynthetic pigments were determined. The most effective was the pre-sowing incrustation of seeds with the growth regulator Ecosil Mix and the fungicide Vincit Forte.

Keywords: european spruce, seeds, pre-sowing treatment, seedlings with open root system, foliar application, growth regulators, fungicides, photosynthesis pigments, lipid peroxidation, cell membranes

Введение. Болезнеустойчивость растений и в целом наличие стресса на физиолого-биохимическом уровне можно оценить, как косвенно,

например, выявив интенсивность протекания фотосинтетических процессов, так и напрямую, исследуя перекисное окисление липидов (ПОЛ) и целостность цитоплазматических мембран [1–3]. Регуляция защитных реакций и синтез вторичных метаболитов активно изучались на протяжении долгого времени, в свою очередь, о действии патогенной инфекции на первичный метаболизм, в частности фотосинтез, известно меньше, однако последнее время растет интерес к исследованию аспектов фотосинтеза в различных типах взаимодействий растений и патогенов [1–2]. Как правило, изменения в первичном метаболизме при атаке патогенов обусловлена, либо прямым следствием патогенеза, либо защитными механизмами самого растения. При этом, атака патогенных микроорганизмов может привести к потере продуктивности даже при взаимодействиях, которые не заканчиваются болезнями или гибелью. Существуют очевидные причины, по которым контакт с патогенами изменяет первичный метаболизм растений. Защитные реакции требует больших затрат, обуславливающие повышенную потребность растения в ассимилятах. На данный момент наиболее распространено предположение, что растения преднамеренно ингибируют метаболические пути, связанные с фотосинтезом, а сэкономленная энергия используется для наиболее эффективной реализации защитных реакций [2–4].

Таким образом, видна ключевая роль фотосинтетических процессов, как центрального звена первичного метаболизма, при развитии инфекций и осуществлении растениями защитных реакций. Именно поэтому, содержание и качественный состав хлорофиллов и каротиноидов представляются одними из наиболее достоверных показателей, характеризующих состояние фотосинтетического аппарата растений в присутствии стресса [1–6].

В последние годы наиболее всесторонне изучены вторичные метаболиты, однако неоднородность химической природы не позволяет в должной мере использовать их как универсальный маркер протекания патогенеза [1]. Также довольно хорошо описанным вопросом является генерация в клетках активных форм кислорода (АФК), которая, в совокупности с сопряженными с ней процессами, и представляется большинству ученых, как наиболее удобный и точный критерий, отражающий интенсивность патологических процессов [1, 2, 5]. Ионные потоки и повышенная генерация АФК при наличии стресса у растений обычно сопряжены с реакцией сверхчувствительности (СВЧ) и запрограммированной гибелью клеток. Если АФК действительно выступают в роли основных эффекторов запрограммированной гибели клеток, то, возможно, наиболее очевидным механизмом гибели клеток является перекисное окисление липидов (ПОЛ), которое происходит также и при отсутствии стресса, обеспечивая ряд мембранных функций [2, 7–9]. Однако, когда уровни АФК превышают способность растения к поглощению, перекисное окисление липидов в биологических мембранах увеличивается, что влияет на физиологические процессы клетки. В частности, начинается окисление ацильных цепей в мембранах клеток, вследствие чего может серьезно нарушиться их целостность [7–11].

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования использовали семена и двухлетние сеянцы с открытой корневой системой ели европейской (*Picea abies* L.). Посевной материал был заготовлен в 2019 году и соответствовал первому классу качества. Опыты проводили в условиях открытого грунта на базе постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз» в 2020 и 2021 годах. Семена ели европейской высевали в мае 2020 года безгрядковым ленточным посевом по пятистрочной схеме с шириной строки равной 5 см и расстоянием 25 см [5, 12]. Площадь опытного участка, в пределах которого рендомизированным способом были разбиты делянки (повторность 4-х кратная) общей площадью 80 м^2, составила 0,3 га. Часть семян, согласно схеме опыта (табл. 1), перед посевом инкрустировали смесями, включающими регулятор роста Экосил Микс и протравитель фунгицидного действия Винцит Форте (10 л рабочего раствора на 1 тонну семян). В июне – начале августа 2020 и 2021 года проводили 1–2-кратные внекорневые обработки сеянцев с интервалом в 20–30 дней путем опрыскивания вегетирующих растений рабочими растворами препаратов Экосил Микс или Экосил Плюс.

Таблица 1. Схема опытов по обработке семян и сеянцев регуляторами роста

Table 1. Scheme of experiments on the treatment of seeds and seedlings with growth regulators

Варианты опыта Experience options	Способ обработки Treatment method	Расход препарата (на 1 м^2, мл) Drug consumption (per 1 m^2, ml)	Расход рабочего р-ра (на 1 м^2, мл) Solution consumption (per 1 m^2, ml)
Контроль (сухие семена)	–	–	–
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	Внекорневая	0,1	30
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	Внекорневая	0,1	30
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	Внекорневая	0,15	30
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	Внекорневая	0,15	30
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	Предпосевная (инкрустация)	–	–
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	0,1	30
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	0,1	30
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	0,15	30
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	Предпосевная (инкрустация) + внекорневая	0,15	30

Экосил Плюс, ВЭ (2,5 г/л тритерпеновых кислот) – природный полифункциональный препарат, регулятор роста и индуктор иммунитета растений. Фитоактиватор физиологических, биохимических, формообразовательных, продукционных и иммуномодулирующих процессов в растениях. В результате применения препарата стабилизируется метаболизм за счет снижения затрат энергии на гомеостаз, идущей на образование органического вещества в виде углеводов, жиров и белков. Помимо тритерпеновых кислот в состав препарата входит биологически активная сумма нейтральных изопреноидов, состоящая из более чем 30 легколетучих малополярных, моно- и сесквитерпеновых соединений [2, 5].

Экосил Микс, ВЭ (5 г/л тритерпеновых кислот) – природный полифункциональный препарат, обогащенный комплексом макро- и микроэлементов и широким спектром биологически активных соединений: модифицированных гуминовых кислот, фульвокислот, аминокислот (глицин, лизин, треонин, метионин, тирозин и др.) и биогенных аминов (тирамин и др.), низкомолекулярных органических кислот (янтарная, малоновая, яблочная, щавелевая и др.), фенолкарбоновых кислот (салициловая, бензойная, феруловая, кумаровая, ванилиновая, галловая и др.). Экосилы относятся к 4-му классу опасности, нефитотоксичны и безвредны для пчел [2, 5].

Винцит Форте, КС (флутриафол 37,5 г/л + тиабендазол 25 г/л + имазалил 15 г/л) – системный фунгицид для защиты семян от комплекса заболеваний, передающихся воздушным путем и через почву. Препарат оказывает фунгицидное действие в течение нескольких часов после обработки семян. Действующие вещества, входящие в состав Винцита Форте, обладают профилактическим и лечащим системным действием. Флутриафол нарушает биосинтез стеринов и проницаемость клеточных мембран, тиабендазол нарушает процесс деления клеточных ядер, имазалил ингибирует биосинтез эргостерина и подавляет образование мембран в клетках грибов. Имеет 3-й класс опасности, практически не токсичен для животных [5].

Болезнеустойчивость растений оценивали путем анализа таких физиолого-биохимических параметров, как количество и соотношение пигментов фотосинтеза, уровень содержания продуктов перекисного окисления липидов мембран и их целостность.

Содержание фотосинтетических пигментов в хвое сеянцев определяли трехволновым методом из ацетоновой вытяжки [1, 3, 5, 13]. Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* и их сумму рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для ацетона [3, 5]. Концентрацию каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов вычисляли с использованием уравнения Веттштейна [5, 14]. Перекисное окисление липидов мембран оценивалось при помощи спектрофотометрического метода, основываясь на способности 2-тиобарбитуровой кислоты (ТБК) связываться с липидными перекисями (малоновый диальдегид). Количество ТБК-продуктов (в мкМ/г свежей массы) рассчитывали, используя молярный коэффициент экстинкции – $1{,}55 \cdot 10^5$ $М^{-1}$ $см^{-1}$ [1, 2, 5]. Изменение проницаемости мембран определяли по выходу водорастворимых веществ из тканей растений (хвоя сеянцев) с помощью кондуктометра HI-8734 (в мг/л) [1, 2, 15].

Для анализа данных, полученных в ходе исследования, использована программа Microsoft Excel 2013. С целью проверки достоверности полученных данных рассчитана ошибка среднего и парный двухвыборочный t-критерий Стьюдента (уровень значимости 0,05) [16].

Результаты исследований и их обсуждение. Под действием обработок защитно-стимулирующими препаратами во всех опытных вариантах наблюдается тенденция к значительному увеличению в сравнении с контролем концентрации в хвое сеянцев хлорофилла *a*, а также в большинстве вариантов отмечено статистически достоверное возрастание количества хлорофилла *b*. На фоне этого лишь в двух опытных вариантах зафиксировано существенное отличие уровня каротиноидов по отношению к контролю (табл. 2).

Таблица 2. Влияние обработок на содержание фотосинтетических пигментов в хвое сеянцев ели европейской

Table 2. The effect of treatments on the content of photosynthetic pigments in the needles of European spruce seedlings

Вариант опыта Experience option	Хлорофилл *a* (% к контролю) Chlorophyll "*a*" (% of the control)	Хлорофилл *b* (% к контролю) Chlorophyll "*b*" (% of the control)	Каротиноиды (% к контролю) Carotenoids (% of the control)
Контроль (сухие семена)	100	100	100
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	113*	103	95
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	119*	106*	99
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	131*	107*	103
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	119*	104	102
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	144*	132*	119*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	124*	114*	109*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	121*	109*	105
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	113*	110*	101
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	113*	109*	105

Примечание: * – данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента при $P \geq 0,05$.

С точки зрения физиолого-биохимических процессов наблюдаемая закономерность говорит об успешной активации фотосинтеза, так как

именно хлорофилл *a* является «главным» пигментом в световой фазе фотосинтеза, а вот увеличение концентрации каротиноидов, напротив, может свидетельствовать о наличии определенного стресса для растений [1]. Однако, несмотря на то, что в двух опытных вариантах зафиксировано значительное увеличение количества каротиноидов в сравнении с контролем, в этих же вариантах отмечено наиболее высокое содержание хлорофиллов и таким образом, в данном случае повышенная концентрация каротиноидов, по всей видимости, не вызвана негативными факторами, а лишь указывает на общее корреляционное содержание пигментов.

Интересно также обратить внимание не только на содержание пигментов фотосинтеза в хвое сеянцев, но и их соотношение, так как данный показатель зачастую дает более точное представление о состоянии фотосинтетического аппарата, нежели абсолютные величины. В норме для растений, у которых ассимиляция CO2 происходит по типу C3 (цикл Кальвина), соотношение хлорофилла *a* к *b* колеблется в диапазоне от 2 до 5, а хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам от 2,2 до 8,0 [1, 2, 5].

Таблица 3. Влияние обработок на соотношение фотосинтетических пигментов в хвое сеянцев ели европейской

Table 3. The effect of treatments on the ratio of photosynthetic pigments in the needles of European spruce seedlings

Вариант опыта Experience option	Хлорофилл *a* / *b* Chlorophyll *a* / *b*	Хлорофиллы / каротиноиды Chlorophylls / carotenoids
Контроль (сухие семена)	3,3	1,9
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	3,6	2,2
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	3,7	2,2
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	4,0	2,3
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	3,8	2,2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	3,6	2,3
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	3,6	2,2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	3,7	2,2
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	3,4	2,1
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	3,4	2,1

Исходя из полученных данных, видно, что во всех вариантах соотношение хлорофилла *a* к *b* находится в пределах нормы, однако в вариантах с обработками прослеживается тенденция к увеличению доли хлорофилла «*a*». На фоне этого несколько ниже нормального диапазона оказалось соотношение хлорофиллов к каротиноидам как в контроле, так и после

совместной предпосевной инкрустации смесью препаратов Экосил Микс и Винцит Форте и внесения во время вегетации регулятора роста Экосил Плюс (табл. 3).

Внесение испытанных защитно-стимулирующих препаратов способствовало уменьшению окислительного стресса в клетках сеянцев и в целом стабилизации их цитоплазматических мембран. Это видно, как по снижению концентрации ТБК-продуктов в хвое, так и по сокращению выхода водорастворимых веществ из тканей растений в сравнении с контрольными величинами (табл. 4).

Таблица 4. Влияние обработок на перекисное окисление липидов и целостность мембран клеток сеянцев ели европейской

Table 4. The effect of treatments on lipid peroxidation and the integrity of cell membranes in European spruce seedlings

Вариант опыта Experience option	Содержание ТБК-продуктов (% к контролю) Concentration of TBA-products (% of the control)	Выход водорастворимых веществ (% к контролю) The output of water-soluble substances (% of the control)
Контроль (сухие семена)	100	100
Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	85*	65*
Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	92*	69*
Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	85*	74*
Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	95*	70*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л	86*	71*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (1 обработка)	81*	72*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Микс 1,0 л/га (2 обработки)	92*	71*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (1 обработка)	90*	67*
Экосил Микс 0,1 мл/л + Винцит Форте 50 мл/л + Экосил Плюс 1,5 л/га (2 обработки)	88*	69*

Примечание: * – данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента.

Минимальным содержание ТБК-продуктов оказалось в варианте с одновременной инкрустацией смесью препаратов Экосил Микс и Винцент Форте, а также внекорневой обработкой Экосилом Микс. В свою очередь наименьшая проницаемость мембран показана для сеянцев ели европейской, однократно обработанных вовремя вегетации регулятором роста Экосил Микс.

Заключение. Таким образом, результаты исследования действия предпосевных и внекорневых обработок семян и двухлетних сеянцев ели европейской с открытой корневой системой регуляторами роста Экосил Микс

и Экосил Плюс, а также системным протравителем фунгицидного действия Винцит Форте на физиолого-биохимические показатели болезнеустойчивости растений, говорят о том, что внесение препаратов положительно влияет на первичный метаболизм сеянцев, увеличивая концентрацию пигментов в их хвое на фоне нормального и закономерного соотношения. Также во всех опытных вариантах отмечено снижение окислительного стресса в клетках растений и увеличение целостности их цитоплазматических мембран по отношению к контролю. Наиболее эффективным способом обработки оказалось инкрустирование семян защитного-стимулирующим составом, включающим Экосил Микс и Винцит Форте, так как в данном случае отмечен максимальный рост концентрации пигментов фотосинтеза в хвое сеянцев при одновременном сокращении содержания ТБК-продуктов и выхода водорастворимых веществ из тканей растений.

Литература

1. Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений / А. П. Волынец [и др.] – Минск: Беларуская навука, 2016. – 252 с.

2. Эндогенные фиторегуляторы роста : свойства, физиологической действие и практическое использование / А. П. Волынец [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 233 с.

3. Титова, М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* / М. С. Титова // Вестник ОГУ. – 2010. – № 12 (118). – С. 9–12.

4. Тужилкина, В. В. Фотосинтетические пигменты хвои ели сибирской в среднетаежных лесах европейского северо-востока России / В. В. Тужилкина // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 1. – С. 65–73.

5. Шуканов, В.П. Применение экологически безопасных препаратов для повышения качества сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / В. П. Шуканов, И. А. Машкин, Л. А. Корытько // Природные ресурсы: научное издание. № 1 / Национальная академия наук Беларуси; Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск: «Издательский дом «Беларуская навука», 2020. – С. 99–107.

6. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М.: Академия, 2006. – 448 с.

7. Спивак, Е. А. Генерация активных форм кислорода, перекисное окисление липидов и проницаемость клеточных мембран в листьях проростков ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при засухе / Е. А. Спивак // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2010. – № 1. – С. 51–54.

8. Новиков, В. Е. Роль активных форм кислорода в физиологии и патологии клетки и их фармакологическая регуляция / В. Е. Новиков, О. С. Левченкова, Е. В. Пожилова // Обзоры по клинич. фармакологии и лекарственной терапии. – 2014. – № 4. – С. 13–21.

9. Маханова, Р. С. К вопросу изучения перекисного окисления липидов / Р. С. Маханова // Известия ОГАУ. – 2011. – № 1. – С. 231–234.

10. Мерзляк, М. Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительных клеток / М. Н. Мерзляк // Итоги науки и техники ВИНИТИ. Сер. физиология растений. – 1989. Т 6. С. 1–168.

11. Колупаев, Ю. Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции / Ю. Е. Колупаев // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология. – 2007. – № 3 (12). – С. 6–26.

12. Якимов, Н. И. Лесные питомники. Методические указания к учебной практике для студентов специальности 1-750101 «Лесное хозяйство» / Н. И. Якимов, В. В. Носников. – Минск: БГТУ, 2011. – 54 с.

13. Шлык, А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев. Биохимические методы в физиологии растений / А. А. Шлык. – М.: Наука, 1971. – 327 с.

14. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по фотосинтезу: Учебное пособие / В. Ф. Гавриленко. – М.: Академия, 2003. – 250 с.

15. Третьяков, Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

16. Зайцев, Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев // М.: Наука, 1990. − 296 с.

Поступила в редакцию 06.10.2021 г.

УДК 581.192.2:582.893

А. В. УСИК

СЕКРЕТОРНЫЕ СТРУКТУРЫ РАСТЕНИЙ БОРЩЕВИКОВ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN. И *HERACLEUM SIBIRICUM* L.

Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: jalja-93@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования локализации кумариновых соединений в органах борщевиков Сосновского и сибирского. Описаны эндогенные секреторные структуры в стеблекорнях и плодах и экзогенные на черешках листьев, цветках, плодах. Хроматографическое разделение содержимого секреторных структур показало различие в накоплении кумариновых соединений у борщевиков сибирского и Сосновского.

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Heracleum sibiricum* L., борщевик Сосновского, борщевик сибирский, кумарины, фурокумарины, высокоэффективная жидкостная хроматография, ВЭЖХ, секреторные вместилища

A. W. VUSIK

SECRETORY STRUCTURES IN *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN AND *HERACLEUM SIBIRICUM* L.

V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: jalja-93@mail.ru

Annotation. There are research results of the localization of coumarins in *Heracleum sibiricum* and *Heracleum sosnowskyi*. Exogenous secretory structures are in petiole, flowers, fruits and endogenous secretory structures are in roots. Chromatographic separation of latex showed differences in coumarins of *Heracleum sibiricum* and *Heracleum sosnowskyi*.

Keywords: *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Heracleum sibiricum* L., coumarins, furocoumarins, high performance liquid chromatography, HPLC, secretory tissues

Введение. Растения накапливают вещества разной химической природы в специализированных секреторных структурах, которые располагаются как на поверхности, так и непосредственно в тканях и органах. Огромный интерес представляют растения, накапливающие соединения кумаринового ряда, которые могут не только вызывать ожоги на коже человека под воздействием УФ-света, оказывая тем самым фотосенсибилизирующее действие [1–5], но и проявлять противоопухолевую [6–9] и антиоксидантную активность [10], что позволяет применять их для лечения многих заболеваний, в том числе витилиго, болезни Паркинсона и т. д. [11–15].

Объекты (материалы) и методы исследования. В работе в качестве объекта исследования выступают секреторные структуры различных частей (цветок, плод, черешок листа) растений аборигенного вида – борщевика сибирского и инвазивного вида – борщевика Сосновского и накапливающиеся в них кумариновые соединения.

Для изучения секреторных структур был применен микроскопический метод исследования с использованием микроскопа Olympus SZ61 и микроскопа BYLAN (ТУ РБ 14724552.048-97). Наблюдения за живыми клетками регистрировались в виде фотографий, сделанных с помощью специальной фотонасадки (Hayear 5.0MP USB Cmos) к микроскопу. Также применялся светодиодный облучатель для подсветки препаратов в ультрафиолетовом диапазоне. Изучение кумариновых соединений происходило с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Для исследования смеси веществ методом ВЭЖХ использована колонка Thermo scientific, 150×4,6 мм, Германия с силикагелем С18 в качестве сорбента и УВЭЖХ Ultimate 3000 (Thermo Ficher Scientific), Германия. Для анализа содержания ксантотоксина и бергаптена использована подвижная фаза ацетонитрил: вода (pH=3), в градиенте 40 %→70 % 20 мин, 70 % 1 мин., v = 0,5 мл/мин. Разделение фурокумаринов императорина и псоралена происходило на колонке 250 мм. Для исследования была подобрана подвижная фаза и проведена калибровка стандартов: ацетонитрил: вода (pH = 3), в градиенте 30 %→60 % 10 мин, v = 1 мл/мин, 60 %→70 % 10 мин, v = 1 мл/мин, 70 % 3 мин., v = 1 мл/мин.

Результаты и их обсуждение. Секреторные структуры вегетативных органов борщевика Сосновского и сибирского представлены экзогенными и эндогенными образованиями. На надземной вегетативной части растения экзогенные секреторные структуры представляют собой одноклеточные трихомы. Трихомы черешка листа имеют вид тонких конусовидных выростов, сидящих на ножке. В зависимости от фазы развития растения ножка может быть либо прозрачной у растений в виргинильном периоде, либо красного цвета. Трихомы борщевика сибирского также имеют ножку без пигмента красного цвета (фото 1, А).

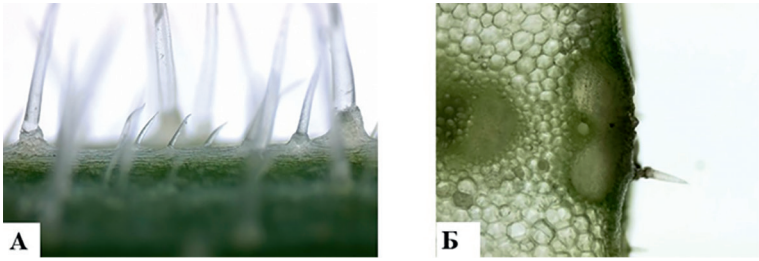


Рис. 1. Экзогенные секреторные структуры черешка листа борщевика Сосновского. Трихомы на поверхности черешка (А) (3×), срез черешка листа (Б) (5×)

Fig. 1. Exogenous secretory structures in petiole of *Heracleum sosnowskyi.* Trichomes in petiole (А) (3×), petiole cut (Б) (5×)

При проведении микроскопирования поперечного среза черешка листа борщевика видны проводящие пучки, рассеянные по паренхиме, а на латеральной поверхности – одноклеточные трихомы. При большем

увеличении выявлено, что на латеральной части черешка листа под механической тканью располагается полость, в которой, возможно, накапливается секрет (фото 1, Б). Также замечено, что трихомы располагаются по жилке листа.

На стеблекорнях борщевиков экзогенные секреторные структуры не обнаружены. Для изучения эндогенных структур были выполнены срезы стеблекорня. Замечено, что в качестве секреторных структур здесь выступают секреторные вместилища. Они располагаются в экзо- и мезодерме (фото 2, А). При ультрафиолетовой подсветке, секрет, содержащийся в эндогенных вместилищах излучает желто-зеленое свечение (фото 2, Б).

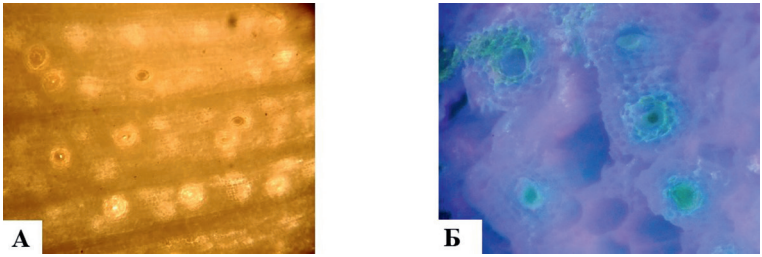


Рис. 2. Эндогенные структуры стеблекорня растений борщевика Сосновского: А – общий вид (10×), Б – при облучении в ультрафиолетовом диапазоне (15×)

Fig. 2. Endogenous secretory structures in roots *Heracleum sosnowskyi*: А – general view (10×), Б – under UV light (15×)

На генеративных органах борщевиков сосновского и сибирского обнаружены только экзогенные структуры – трихомы, которые располагались на цветоножке, чашечке и внешней стороне венчика. На цветоножке видны два типа трихом: маленькие острые, а также длинные с булавовидным концом. Первый тип характерен для простых трихом, а второй – для железистых, в булавовидной головке которых происходит накопление секрета [1]. На поперечном срезе цветоноса видна полость под трихомой, как и в стебле.

Плод борщевика – вислоплодник, состоящий из двух мерикарпиев (фото 3, А, Б). На краевых крыловидных ребрах мерикарпия есть маленькие с острыми верхушками трихомы. Замечено наличие экзогенных структур на поверхности карпофоры. В плодовой оболочке мерикарпиев находятся секреторные структуры, имеющие вид расширенных к концу канальцев. Канальца располагаются с двух сторон мерикарпия между слабовыступающими ребрами. На вентральной стороне находятся 2 канальца, составляющие по длине 1/2 части мерикарпия, а на латеральной – более узкие и длинные 4 канальца - около 2/3 части мерикарпия по длине у борщевика Сосновского (фото 3, А). Каналы борщевика сибирского более узкие, прямые, без расширения книзу (фото 3, Б).

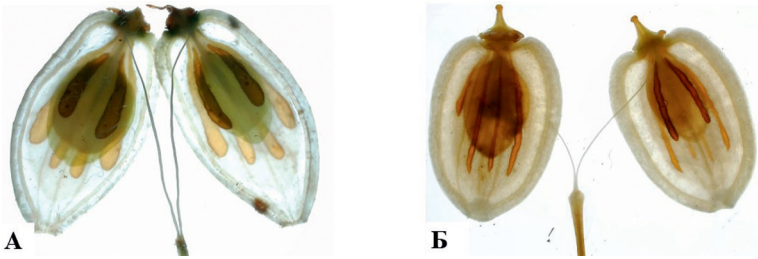


Рис. 3. Секреторные структуры плодов растений рода Борщевик.
А – общий вид вислоплодника борщевика Сосновского (1×),
Б – общий вид вислоплодника борщевика сибирского (1×)

Fig. 3. Secretory structures in fruits of *Heracleum*.
А – general view of *Heracleum sosnowskyi* (1×),
Б – general view of *Heracleum sibiricum*

Исследован состав кумариновых соединений в секреторных структурах боршевиков Сосновского и сибирского. В результате исследования содержания ксантотоксина и бергаптена в различных частях растения было выявлено наличие наибольшего количества фурокумаринов в подземных частях, чем в надземных. Так, в стеблекорнях борщевика Сосновского содержание ксантотоксина составило 2,259 мкг/г сухого вещества, а бергаптена 2,287 мкг/г сухого вещества (табл. 1).

Установлено, что в надземных структурах борщевика Сосновского накапливается больше ксантотоксина, чем бергаптена. Так, в черешках, эпидермисе и цветках ксантотоксина накапливается в 2,7, 3,9 и 3,6 раза соотвественно больше.

Имеются различия в накоплении ксантотоксина в тканях черешка листа и в эпидермисе с трихомами. В черешке листа содержание ксантотоксина составило 0,607 мкг/г, в эпидермисе – 0,904 мкг/г, что указывает на преимущественное накопление данного фурокумарина в трихомах растения. Количество бергаптена также незначительно больше в эпидермисе (0,233 мкг/г сухого вещества), чем в черешках листа (0,225 мкг/г).

Сравнительный анализ содержания фурокумаринов в подземных частях растений борщевика Сосновского и сибирского подтвердил данные, полученные ранее методом тонкослойной хроматографии (табл. 2).

Так, содержание псоралена в стеблекорнях борщевика Сосновского составило 1,237 мкг/г сухого вещества, а в стеблекорнях сибирского в 1,5 раза меньше. Количество императорина 2,060 мкг/г и 1,467 мкг/г сухого вещества у борщевика Сосновского и сибирского соответственно. Количество бергаптена и ксантотоксина также было меньше в растениях борщевика сибирского и составило 2,187 мкг/г и 2,218 мкг/г сухого вещества.

Таблица 1. Содержание фурокумаринов в надземных и подземных частях растения борщевика Сосновского

Table 1. Furocoumarins in aboveground and underground part of Heracleumы sosnowskyi

Часть растения Part of a plant	Фурокумарин Furocoumarins	мкг/г μg / g
Стеблекорень	Ксантотоксин	2,259
	Бергаптен	2,287
	Псорален	1,237
	Императорин	2,060
Черешок листа	Ксантотоксин	0,607
	Бергаптен	0,225
	Псорален	0,456
	Императорин	–
Эпидермис листа	Ксантотоксин	0,904
	Бергаптен	0,233
	Псорален	0,432
	Императорин	–
Цветок	Ксантотоксин	0,7632
	Бергаптен	0,212
	Псорален	0,115
	Императорин	–

Таблица 2. Содержание фурокумаринов в стеблекорнях борщевика сибирского

Table 2. Furocoumarins in roots part of *Heracleum sibiricum*

Часть растения Part of a plant	Фурокумарин Furocoumarins	мкг/г μg / g
Стеблекорень	Ксантотоксин	2,218
	Бергаптен	2,187
	Псорален	1,237
	Императорин	1,467

В черешке и эпидермисе листа борщевика Сосновского содержание псоралена практически одинаково – 0,456 мкг/г и 0,432 мкг/г сухого вещества соответственно. В цветках накопление псоралена составило 0,115 мкг/г сухого вещества. В листовых черешках и цветках борщевика Сосновского императорин не обнаружен. В то же время количество императорина в стеблекорнях борщевиков Сосновского и сибирского составило 2,060 мкг/г и 1,467 мкг/г сухого вещества соответственно.

Заключение. Таким образом, экзогенные секреторные структуры борщевиков Сосновского и сибирского представлены трихомами трех типов: длинные трихомы, сидящие на ножке, длинные трихомы с булавовидным концом и короткие с острыми вершинами. Первые располагаются главным образом на стеблях и черешках листьев растения, вторые обнаружены на цветоножке, третьи находятся на цветоножке по краю мерикарпия и на карпофоре. Эндогенные структуры представлены секреторными вместилищами, находящимися в стеблекорне и секреторными канальцами мерикарпия. Сравнительный количественный анализ содержания кумариновых соединений в различных частях растений аборигенного и инвазивного видов показал наличие их меньшего количества в растениях борщевика сибирского по сравнению с борщевиком Сосновского, что в известной мере объясняет и его незначительные обжигающие свойства.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке аспирантского гранта №147 от 01.04.2021.

Литература

1. Клепов, И. Д. Пузыристые дерматиты от лугового растения борщевика / И. Д. Клепов // Вестн. дерматол. и венерол. – 1960. – Т. 3. – С. 55–56.

2. Прилипко, Л.И. О болезнетворных свойствах борщевика в Конахкендском районе Азербайджанской ССР/ Л.И. Прилипко// Известия академии наук Азербайджанской ССР. – 1950. – №3. – С. 68–70.

3. Kasperkiewicz, K. Sunscreening and photosensitizing properties of coumarins and their derivatives / K. Kasperkiewicz, A. Erkiert-Polguj, E. Budzisz // Lett. Drug Design Discovery. – 2016. – Vol. 13, N 5. – P. 465–474. https://doi.org/10.2174/1570180812666150901222106

4. Леоненко, П. М. К клинике и профилактике дерматитов, вызываемых борщевиком/ П. М. Леоненко // Здравоохранение Беларуси. – 1962. – № 11 – С. 83–84.

5. Щёголев, Е. Ю. Влияние фотодинамической терапии с фотосенсибилизатором кумарин на структуру висцеральной брюшины и микрофлору моделированного перитонита [Электронный ресурс] / Е. Ю. Щёголев, Е. Г. Комар // Сборник материалов конференции студентов и молодых ученых, посвященной 60-летию учреждения образования «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, 26–27 апреля 2018 г.– Гродно, 2018. – С. 572–573.

6. Emami, S. Current developments of coumarin-based anti-cancer agents in medicinal chemistry / S. Emami, S. Dadashpour // Eur. J. Med. Chem. – 2015. – Vol. 102. – P. 611–630. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.08.033

7. Recent developments of C-4 substituted coumarin derivatives as anticancer agents / J. Dandriyal [et al.] // Eur. J. Med. Chem. – 2016. – Vol. 119. – P. 141–168. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.03.087

8. Coumarins and coumarin-related compounds in pharmacotherapy of cancer/ Küpeli Akkol E. [et al.] // Cancers. – 2020. – Vol. 12., No 7. – P. 1959.

9. A review on anti-tumor mechanisms of coumarins/ Wu Y. [et al.] // Frontiers in Oncology. – 2020. – Vol. 10. – P. 2720.

10. Antioxidant activity of coumarins / Y. Al-Majedy [et al.] // System. Rev. Pharm. – 2017. – Vol. 8, N 1. – P. 24–30. https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.6

11. Recent developments of coumarin-containing derivatives and their anti-tubercular activity / Y. Q. Hu [et al.] // Eur. J. Med. Chem. – 2017. – Vol. 136. – P. 122–130. https:// doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.05.004

12. Coumarin derivatives as monoamine oxidase B inhibitors with antiparkinsonian like properties / P. Olaya [et al.] // FarmaJournal. – 2019. – Vol. 4, N 1. – P. 218.

13. Coumarin: A natural, privileged and versatile scaffold for bioactive compounds / A. Stefanachi [et al.] // Molecules. – 2018. – Vol. 23, N 2. – P. 250. https://doi.org/10.3390/molecules23020250

14. Natural and synthetic coumarins as antileishmanial agents: A review / G. A. Gonçalves [et al.] // European Journal of Medicinal Chemistry. – 2020. – Vol. 203. – P. 112514.

15. Coumarins as modulators of the Keap1/Nrf2/ARE signaling pathway/ Hassanein E. H. M. [et al.] // Oxidative medicine and cellular longevity. – 2020. – P. 1–25.

Поступила в редакцию 19.10.2021 г.

Ботанические находки

Botanical discoveries

УДК 582. 282 (476)

Д. Б. БЕЛОМЕСЯЦЕВА[1], Н. М. ПЕТЛИЦКАЯ[2], Т. Г. ШАБАШОВА[1], Е. О. КОРОЛЕНЯ-БАРАНСКАЯ[2]

НОВЫЙ ДЛЯ БЕЛАРУСИ ВОЗБУДИТЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТЬЕВ ДУБА – *TAPHRINA CAERULESCENS*

[1]*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: tiniti@inbox.ru*
[2]*Агрохимическая лаборатория УП «Минскзеленстрой», Минск, Беларусь, e-mail: piatlitskayanm@mail.ru*

Аннотация. В результате исследований в зеленых насаждениях городов Минск и Брест были выявлены случаи развития микромицета *Taphrina caerulescens* (Desm. & Mont.) Tul. на листьях *Quercus rubra*.

Ключевые слова: инвазивные виды, дендропатогены, микромицеты, дуб красный, *Taphrina caerulescens*.

D. B. BELOMESYATSEVA[1], N. M. PETLITSKAYA[2], T. G. SHABASHOVA[1], Ye. O. KOROLENYA-BARANSKAYA[2]

OAK LEAF DISEASE CAUSED BY THE FUNGUS *TAPHRINA CAERLESCENS* IS NEW IN BELARUS

[1]*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: tiniti@inbox.ru*
[2]*Agrochemical laboratory of UE «Minskzelenstroy", Minsk, Belarus, e-mail: piatlitskayanm@mail.ru*

Annotation. As a result of studies in the green spaces of the Minsk and Brest cities, numerous cases of the development of the micromycete *Taphrina caerulescens* (Desm. & Mont.) Tul. on the leaves of *Quercus rubra* were found.

Keywords: invasive species, dendropathogens, micromycetes, oak, *Taphrina caerulescens*.

Введение. Деформация листьев дуба впервые описана во Франции, в XIX веке, поражает различные виды дуба, в частности, дуб черешчатый, монгольский, бархатистый. Этот вид тафриновых грибов широко распространен в умеренной и субтропической климатических зонах Евразии и Северной Америки, также в Северной Африке (Алжире и Марокко).

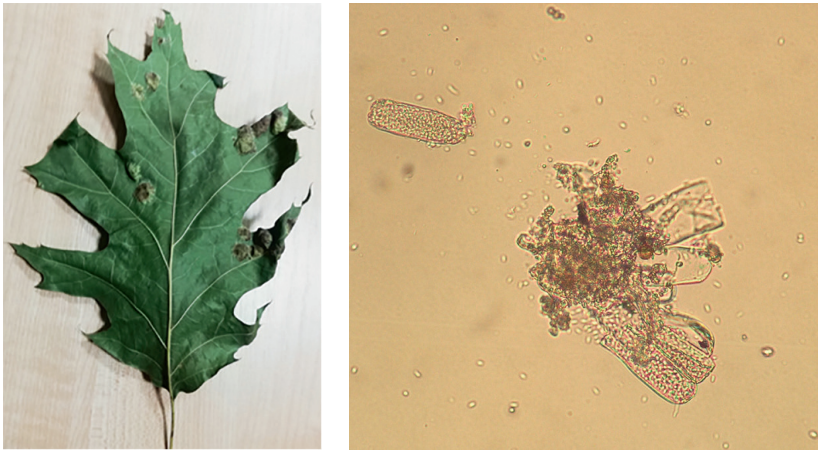
На территории бывшего Советского союза отмечался на Кавказе, в Краснодарском крае, в Крыму (на *Quercus robur*) и в Приморье на (*Q. mongolica*) [4].

В последние годы данный вид начал развиваться на видах дуба в Беларуси.

Материалы (объекты) и методы исследования. Объектами исследования являются микромицеты, развивающиеся на древесных породах. Сбор гербарных образцов проводился в 2020–2021 гг. в парках городов Минск и Брест. Материал гербаризировался по стандартным методикам [2].

Диагностика проводилась по анатомо-морфологическим и культуральным признакам методом световой микроскопии. Собранные образцы грибов находятся на хранении в микологическом гербарии MSK-F ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси».

Результаты и их обсуждение. В течение последних двух вегетационных сезонов сотрудниками агрохимической лаборатории УП «Минскзеленстрой» при обследовании зеленых насаждений в г. Минске, в парке «Лошицкий» были обнаружены многочисленные случаи развития деформации листьев дуба красного (рис. 1, А). Аналогичное развитие болезни было выявлено в 2021 г. в парковых насаждениях г. Бреста сотрудниками лаборатории микологии Института экспериментальной ботаники. На листьях формировались округлые или эллиптические пятна, выпукло-вогнутые с верхней и вдавленные с нижней стороны листа, бурой окраски, при сильном развитии значительно деформирующие лист. Ранее в Беларуси на видах дуба не отмечалось данной болезни [1, 3, 5, 6]. При изучении гербарных образцов было установлено, что причиной является развитие микромицета *Taphrina caerulescens* (Desm. & Mont.) Tul., Annls Sci. Nat., Bot., sér. 5 5: 127 (1866). Ниже нами приводится описание патогена.



A B

Рис. 1. А – Деформация листа дуба; В – аски *Taphrina caerulescens*
Fig. 1. A – Oak leaf deformation; B – Asci *Taphrina caerulescens*

Сумчатый слой на нижней стороне листа в виде серовато-бурого налета. Аски булавовидные или цилиндрические, округлые на вершине, внизу суженные придатки, внедряющиеся между клетками эпидермиса и значительно варьирующие по форме и размерам, 30–120 х 11–34 мкм; базальные клетки отсутствуют, аскоспоры различимы в сумках крайне редко, шаровидные до 5,5 мкм в диаметре [4] (в имеющихся белорусских образцах аскоспоры не наблюдались); содержимое сумок заполнено многочисленными бластоспорами (рис. 1, В).

Болезнь не причиняла значительного ущерба растениям, хотя и снижала их декоративные качества в зеленых насаждениях. Однако, в литературе приводятся сведения о том, что при эпифитотическом развитии болезнь может приводить к гибели деревьев в результате многократного отмирания листьев [4, 7]. В условиях Беларуси *Taphrina caerulescens* не изучена и требуются дальнейшие исследования ее распространения и потенциальной вредоносности.

Литература

1. Беломесяцева, Д. Б. Инвазивные виды фитопатогенных организмов в Беларуси и сопредельных странах / Д. Б. Беломесяцева, О. Г. Гапиенко, В. Б. Звягинцев, С. А. Жданович // Ботаника (исследования): Сборник научных трудов. Выпуск 42. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск: Колорград, 2013. – С. 87–98.

2. Билай, В. И. Методы экспериментальной микологии / В. И. Билай – Киев: Нав. думка, 1982. – 233 с.

3. Болезни и вредители декоративных растений в насаждениях Беларуси / В. А. Тимофеева [и др.]; НАН Беларуси, Центральный ботанический сад; рецензенты Н. В. Гетко, Л. И. Трепашко. – Минск: Бел. навука, 2014. – 185 с.

4. Каратыгин, И. В. Определитель грибов России. Порядки Exobasidiales, Taphrinales, Protomycetales, Microstromatales / И. В. Каратыгин. – СПб: Наука, 2002. – 137 с.

5. Поликсенова, В. Д. Чужеродные для Беларуси микромицеты – паразиты растений, используемых в зеленом строительстве / В. Д. Поликсенова [и др.] // Состояние и перспективы развития зеленого строительства в Республике/ Беларусь = State and Prospects for the Development of Green Construction in the Republic of Belarus: тезисы Республиканского научно-практического семинара (г. Минск, 26-27 апреля 2018 г.) / Национальная академия наук Беларуси; Центральный ботанический сад НАН Беларуси; редкол.: В. В. Титок [и др.]. – Минск: Медисонт, 2018. – С. 149–152.

6. Видовой состав возбудителей основных болезней дуба в лесах Беларуси / А. В. Хвасько [и др.] // Труды БГТУ. – Сер. Лесное хозяйство. – Вып. 15. – 2007. – С. 399–402.

7. Phillips, D. H. Diseases of forest and ornamental trees / D. H. Philips, D. A. Burdekin. – London: Macmillan Press, 1982 . – 435 p.

Поступила в редакцию 15.11.2021 г.

Юбиляры

Anniversaries

ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ ШУКАНОВ
(к 75-летию со дня рождения)



14 октября 2021 года исполнилось 75 лет со дня рождения заведующего лабораторией физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси, кандидата биологических наук Владимира Петровича Шуканова.

В. П. Шуканов родился в деревне Чемерное Лельчицкого района Гомельской области в семье служащего. Учился в Чемернянской начальной школе, а затем в Лельчицкой средней школе № 1, после окончания которой в 1965 г. был призван в ряды Советской Армии. Выпускник биологического факультета Белорусского государственного университета, который окончил в 1973 г., получив специальность «Биолог, преподаватель биологии и химии».

Научная деятельность В. П. Шуканова началась в этом же году в Институте экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича АН БССР в должности старшего лаборанта, а затем младшего научного сотрудника лаборатории белковых веществ и азотистого обмена, где одновременно он проходил заочное обучение в аспирантуре под руководством заведующего лабораторией, доктора биологических наук, профессора В. А. Мироненко. В 1982 г. В. П. Шуканов защищает кандидатскую диссертацию «Влияние ретардантов и диалена на рост, продуктивность и азотистый обмен пшеницы и тритикале» по специальности «Биохимия растений». На основе результатов диссертационных исследований были разработаны рекомендации по совместному применению диалена и хлорхолинхлорида в посевах пшеницы для повышения ее продуктивности и улучшения качества зерна, принятые Министерством сельского хозяйства для внедрения в производство.

В 1982 г. В. П. Шуканов переводится в лабораторию физиологии больного растения, специализирующуюся на проблемах фитопатогенеза и болезнеустойчивости растений, где назначается ответственным исполнителем нового раздела тематики лаборатории «Изучение роли стероидных гликозидов в жизнедеятельности культурных злаков», посвященной вопросам физиолого-биохимического действия обработки растений стероидными гликозидами на рост, развитие, формирование продуктивности и болезнеустойчивость злаковых культур. В результате многолетних исследований была выполнена работа «Функциональная роль стероидных гликозидов в фитопатосистемах культурные растения – фитопатогенные грибы», удостоенная диплома и первой премии Президентов НАН Украины, АН Беларуси и АН Молдовы (1996 г.). Основное достижение выполненных исследований – от-

крытие новой группы эндогенных регуляторов роста растений гормоноподобного типа и физиолого-биохимическая характеристика этой группы веществ.

В 1990 г. начался новый этап в научной и научно-организационной работе Владимира Петровича – утверждение в должности ученого секретаря Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича АН БССР, в которой он плодотворно проработал 12 лет.

В 2006 г. В. П. Шуканов возглавил лабораторию физиологии больного растения, которая с его приходом получила название лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. По его инициативе была расширена тематика лаборатории, введены новые экспериментальные объекты (лен-долгунец, лен масличный, сеянцы сосны и ели). Большое внимание стало уделяться разработке комплексных мероприятий, направленных на повышение болезнеустойчивости и увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур, а также получение здорового и высококачественного посадочного материала хвойных пород при использовании защитно-стимулирующих композиций на основе регуляторов роста. Была проведена большая работа по привлечению новых соединений природного происхождения для создания экологически безопасных комплексных препаратов, индуцирующих фитоиммунитет и повышающих устойчивость растительных организмов к стрессовым воздействиям. Полученные научные результаты легли в основу разработок многочисленных рекомендаций, успешно применяемых в сельскохозяйственной и лесоводческой отраслях. Разработана система мероприятий по защите льна-долгунца от вредителей, болезней и сорняков, принятая Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь для широкого использования. Разработанные под руководством В. П. Шуканова практические рекомендации по применению комплексных защитно-стимулирующих составов при выращивании сосны и ели в закрытом и открытом грунте были утверждены Министерством лесного хозяйства к внедрению в производство.

Результаты многолетних исследований В. П. Шуканова с сотрудниками нашли отражение в четырех монографиях: «Стероидные гликозиды – новые фиторегуляторы гормонального типа» (2003 г.), «Гормональная активность стероидных гликозидов растений» (2012 г.), «Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений» (2016 г.), «Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование» (2019 г.). Он автор и соавтор более 180 научных статей, 7 патентов на изобретения, 7 актов внедрения.

На протяжении длительного времени Владимир Петрович успешно совмещал научную деятельность с общественной работой. В разное время он был членом идеологической комиссии Парткома АН БССР, членом месткома, руководителем занятий по ГО. В повседневной работе Владимира Петровича, наряду с принципиальностью, всегда отличала коммуникабельность, отзывчивость и дружеское отношение к коллегам, способность создавать в коллективе атмосферу доброжелательности и творческого настроения.

Уважаемый Владимир Петрович! Желаем Вам долгих лет жизни, крепкого здоровья, семейного благополучия, удачи во всех начинаниях.

Сотрудники лаборатории физиологии патогенеза
и болезнеустойчивости растений

ТАТЬЯНА ЛЕОНИДОВНА БАРСУКОВА
(к 60-летию со дня рождения)



Татьяна Леонидовна Барсукова родилась 24 января 1961 года в г. Браславе Витебской области БССР. После окончания средней школы поступила на лесохозяйственный факультет Белорусского технологического института имени С. М. Кирова, который окончила в 1982 году. Трудовая деятельность Татьяны Леонидовны началась в 1982 году с должности инженера в Белорусском научно-исследовательском институте лесного хозяйства (в настоящее время – Институт леса НАН Беларуси), где она проработала до 2007 года сначала в должности младшего научного сотрудника, затем научного и старшего научного сотрудника.

На начальном этапе работы в БелНИИЛХ Татьяна Леонидовна занималась разработкой важного для лесоводческой практики вопроса густоты посадки культур сосны и ели в лесных насаждениях. В 1985 году она поступает на очное отделение аспирантуры при БелНИИЛХ, где на долгие годы определяется основной объект ее исследовательской работы – биология и особенности произрастания карельской березы, уникальной древесной породы. Экспериментальным полигоном для исследования особенностей роста и развития этого вида, его изменчивости, размножения и сохранения в условиях Беларуси послужила территория Кореневской экспериментальной лесной базы, на которой в 1986 году на основе семенного материала карельской березы, собранного во всех областях Беларуси, были заложены коллекционные культуры ее ценных форм. По результатам работы в 1995 году Татьяна Леонидовна Барсукова успешно защитила кандидатскую диссертацию «Изменчивость, отбор и разведение березы карельской в Беларуси». В 2005 году за значительный вклад в развитие лесосеменной базы березы карельской, разработку и внедрение в практику результатов исследований ей была объявлена благодарность председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси.

В 2007 году кандидат сельскохозяйственных наук Татьяна Леонидовна Барсукова переходит на преподавательскую работу на впервые созданную в Гомельском государственном университете имени Ф. Скорины кафедру лесохозяйственных дисциплин. В университете свой богатый научный опыт по дисциплинам «Лесные культуры», «Селекция и семеноводство», «Лесоводство» она передавала подрастающему поколению до 2010 года.

С 2010 года научная деятельность Татьяны Леонидовны неразрывно связана с Институтом экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси, куда она была приглашена на должность старшего научного сотрудника, а в 2021 году избрана на должность ведущего научного сотрудника лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии. Научное направление ее работы в Институте достаточно многоплановое и охватывает ре-

шение таких важных проблем как изучение естественных сукцессий в антропогенно нарушенных лесных экосистемах, трансформация лесного покрова в связи с изменениями землепользования, оценка состояния и распространения инвазивных видов древесных пород и разработка рекомендаций по борьбе с ними. Большое внимание Татьяна Леонидовна уделяет разработке эффективных мер по интенсификации использования и сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, внедрению результатов исследований в природоохранную и лесохозяйственную практику.

По результатам научных исследований ею опубликовано более 80 научных и научно-популярных работ, среди которых следует отметить такие как «Анатомическое строение побегов березы карельской» (1989), «Система селекционных рубок на лесосеменных плантациях березы карельской» (2007), «Экспансия дуба красного (*Quercus rubra* L.) в лесных экосистемах Беларуси» (2020).

Благодаря высокой эрудиции и трудоспособности, творческому подходу в решении научных задач Татьяна Леонидовна обеспечила выполнение целого ряда заданий государственных программ научных и прикладных исследований. За активную и успешную работу по разработке научных основ ведения лесного хозяйства, направленных на повышение устойчивости и биологического разнообразия лесных экосистем. Она неоднократно награждалась грамотами и благодарностями Института и Министерства лесного хозяйства республики

Высокий уровень компетентности, широта мысли, талант исследователя – качества, которые характеризуют Татьяну Леонидовну Барсукову как серьезного ученого, уважаемого и незаменимого сотрудника.

От имени коллектива лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии поздравляем Татьяну Леонидовну с юбилеем. От всей души желаем крепкого здоровья, счастья и дальнейших научных успехов.

А. В. Пугачевский, М. В. Ермохин,
сотрудники лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии

НАТАЛЬЯ АЛЕКСЕЕВНА ЗЕЛЕНКЕВИЧ
(к 50-летию со дня рождения)



В июле 2021 года отметила юбилейную дату – 50 лет со дня рождения кандидат биологических наук, специалист в области ботаники и болотоведения Наталья Алексеевна Зеленкевич, ведущий научный сотрудник лаборатории геоботаники и картографии растительности Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси.

Наталья Алексеевна родилась в 1971 году в г.п. Ореховск Оршанского района Витебской области в семье служащих. После окончания с золотой медалью средней школы № 2 в г. Новолукомле в 1988–1993 гг. обучалась и с отличием окончила Минский государственный педагогический университет имени М. Танка. В 1993–1995 гг. как дипломированный специалист работала учителем химии в средней школе № 67 г. Минска.

Свой путь в биологическую науку Наталья Алексеевна начала в 1995 г. с обучения в аспирантуре при Институте экспериментальной ботаники НАН Беларуси, после окончания которой в 1998 г. была принята на работу в лабораторию геоботаники и картографии растительности, где и прошла ее трудовая деятельность от должности младшего научного сотрудника до ведущего научного сотрудника.

За время работы в лаборатории принимала активное участие в выполнении многих проектов как в рамках темы своей диссертационной работы, так и в рамках заданий ГПОФИ, ГПНИ, Государственной программы НСМОС в Республике Беларусь, ОВОС по БелАЭС, проектов БРФФИ, ПРООН/ГЭФ, ЕС/ПРООН, программы Союзного государства «Мониторинг-СГ», а также различных заданий по тематикам бюджетных и хозяйственных договоров.

В период 2004–2011 гг. Наталья Алексеевна в сотрудничестве с Институтом наблюдений за поверхностью Земли (Institute of Earthwatch, Boston, USA) руководила рядом международных научно-исследовательских проектов: «Belarus Wetlands / Верховые болота», «Building Capacity for Biodersity Conservation in Eastern Europe and Central Asia» (Создание потенциала для сохранения биоразнообразия в странах Восточной Европы и Центральной Азии), «Capacity Building» (Наращивание потенциала), «Educator Expeditions» (Экспедиции педагогов). За этот период ею был накоплен и проанализирован большой экспериментальный материал, что позволило в 2015 г. подготовить и успешно защитить кандидатскую диссертацию на тему «Флора и растительность верховых болот Беларуси (ботанико-географические особенности, антропогенные изменения и вопросы охраны)» по специальности «Ботаника».

Приоритетным направлением, которому во все периоды своей работы Наталья Алексеевна уделяла большое внимание, были вопросы изучения болот

и водно-болотных угодий, их картографирование и охрана. Это нашло свое отражение в инвентаризации биологического разнообразия и участии в создании ООПТ различного уровня («Старый Жаден», «Жада», «Морочно», «Докудовский», «Ельня», «Болото Мох», «Корытенский Мох», «Белый Мох», «Споры», «Верхневилейский», «Освейский», «Габы», «Синьша» «Селява», «Пойма Львы» и др.), Рамсарских территорий («Острова Дулебы – Заозерье», «Морочно», «Старый Жаден», «Выдрица», «Козьянский», «Национальный парк «Припятский», «Пойма реки Днепр», трансграничной «Ольманские болота – Перебродыы»); подготовке планов управления заказников («Простырь», «Свитязянский», «Сервечь», «Красный Бор», «Долгое», «Ричи», «Национальный парк «Нарочанский» и др.); проведении ОВОС и обоснований по оптимизации гидрологического режима ряда водно-болотных угодий Белорусского Поозерья, Припятского Полесья и Беловежской пущи.

Наталья Алексеевна Зеленкевич – автор и соавтор более 100 научных публикаций среди которых 6 коллективных монографий: «Флора и растительность республиканского ландшафтного заказника «Ельня» (2010), «Флора и растительность верховых болот Беларуси» (2016), «Растительность и биотопы национального парка «Нарочанский» с картой наземной растительности (М 1:60 000) и картой биотопов (М 1:60 000)» (2017), «Мониторинг растительного мира в Республике Беларусь: результаты и перспективы» (2019), «Трансграничная Рамсарская территория Ольманы-Перебродыы» (Olmany-Perebrody)» (2019), «Рамсарские территории Беларуси: «Болото Дикое» (2020).

Наталья Алексеевна – активный участник мероприятий по распространению информации в области охраны флоры и растительности болот, охотно делится своими знаниями в интервью, открытых лекциях, выступлениях в радио- и телепередачах, а также на научных республиканских и международных конференциях и выставках. Она является одним из идейных создателей и вдохновителей международного научно-практического семинара «Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны». Первый семинар состоялся в 2009 году, а к настоящему времени проведено уже 4 семинара.

За большой вклад и многолетнюю плодотворную научную деятельность, высокую результативность в исследовании растительности Беларуси и большую общественную работу Наталья Алексеевна Зеленкевич неоднократно премировалась и награждалась Почетными грамотами и благодарностями Института.

От имени всего нашего коллектива поздравляем Наталью Алексеевну со знаменательной датой! Желаем ей новых творческих планов и их воплощения. Выражаем ей искреннюю признательность и благодарность за многолетний труд в развитии болотоведения в стране.

А. В. Пучило, Д. Г. Груммо, Е. В. Мойсейчик, С. А. Новик,
сотрудники лаборатории геоботаники и картографии растительности
Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси

СОДЕРЖАНИЕ

ПУГАЧЕВСКИЙ А. В., СУДНИК А. Ф.
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМЕНИ В. Ф. КУПРЕВИЧА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ: ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ, НАСТОЯЩЕЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ (К 90-ЛЕТИЮ ОБРАЗОВАНИЯ) **5**

Флора и систематика

ПАРФЕНОВ В. И., ДМИТРИЕВА С. А., САВЧУК С. С., ЛЕБЕДЬКО В. Н.
ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ ДИКИХ РОДИЧЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ **41**

ГРУММО Д. Г., ЗЕЛЕНКЕВИЧ Н. А., МОЙСЕЙЧИК Е. В., СКУРАТОВИЧ А. Н.
ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ В РАЙОНЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС **48**

ДУБОВИК Д. В., САВЧУК С. С., СКУРАТОВИЧ А. Н., ЛЕБЕДЬКО В. Н., САУЛОВ А. О.
МАТЕРИАЛЫ О НОВЫХ ДЛЯ ФЛОРЫ БЕЛАРУСИ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ВИДАХ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ **82**

MASLOVSKY O. M.
ANALYSIS OF THE EASTERN EUROPEAN BRYOFLORA BY THE GEOGRAPHICAL LATITUDINAL ELEMENTS **95**

ЧУМАКОВ Л. С., ЛЕВКОВИЧ А. В., МАСЛОВСКИЙ О. М., РЫБКО Н. Г., СЫСОЙ И. П., ШИМАНОВИЧ Р. В., РОДИОНОВ П. А.
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ И ИСЧЕЗАЮЩИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МИНСКА **107**

Фитоценология

ГАРБАРУК Д. К., УГЛЯНЕЦ А. В., ШУМАК С. В.
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ВКЛАД КОМПОНЕНТОВ ЧЕРНООЛЬХОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗАПОВЕДНОЙ ЗОНЫ ПГРЭЗ В БИОМАССУ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ^{137}Cs И ^{90}Sr **123**

ГРИЩЕНКОВА Н. Д.
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ Р. СВИСЛОЧЬ – Р. БЕРЕЗИНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ **140**

ГРУММО Д. Г.
ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ 155

ЕРМОХИН М. В., БАРСУКОВА Т. Л., УГЛЯНЕЦ С. А., ЛУКИН В. В., КНЫШ Н. В., ДУДКИНА Л. А., МЫЧКО В. Е., БЕРНАЦКИЙ Д. И.
ДИНАМИКА И СОСТОЯНИЕ БОЛОТНЫХ И ЗАБОЛОЧЕННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ 171

КУЛИКОВА Е. Я., ЕРМОЛЕНКОВА Г. В., ДРОБЫШ К. В., ВОЗНЯЧУК Н. Л., РОМАНОВА М. Л., ПУЧИЛО А. В.
СОВРЕМЕННАЯ ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ Р. ПРИПЯТЬ В УРОЧИЩАХ «ТУРОВСКИЙ ЛУГ» И «ПОГОСТ» 195

ПУЧИЛО А. В.
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИЛЬМОВЫХ ЛЕСОВ В БЕЛАРУСИ 210

РОМАНОВА М. Л., ПОНТУС А. Р., ЗЕНКОВИЧ С. В., МАКСИМОВ М. М.
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАСАЖДЕНИЙ ЗЕЛЕНЫХ ЗОН Г. МИНСКА НА ОСНОВЕ НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 217

СУДНИК А. В., СТЕПАНОВИЧ И. М., ТОЛКАЧЕВА Н. В., ГОЛУШКО Р. М., ПОТАПЕНКО А. М., КОМАР А. Ю., МАШКОВ И. А., СЕРЕНКОВА В. А., СОЗИНОВ О. В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ С ИЗМЕНЕННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ БЕЛАРУСИ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ 231

Микология и фитопатология

БЕЛОМЕСЯЦЕВА Д. Б., ШАБАШОВА Т. Г., СИНЯВСКАЯ М. Г., ЗВЯГИНЦЕВ В. Б.
ИНВАЗИВНЫЕ ВИДЫ ДЕНДРОПАТОГЕННЫХ МИКРОМИЦЕТОВ В МИКОБИОТЕ ЮГО-ЗАПАДА БЕЛАРУСИ 248

КОРИНЯК С. И., ЛЕБЕДЬКО В. Н.
ФИТОПАТОГЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ НА РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА RANUNCULACEAE В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА» 261

ШАБАШОВА Т. Г., БЕЛОМЕСЯЦЕВА Д. Б., СИНЯВСКАЯ М. Г., КАРМАНОВА В. В.
ВИДОВОЙ СОСТАВ ДЕНДРОФИЛЬНЫХ ГРИБОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА» 272

Физиология и экология растений

АВЕРИНА Н. Г., САВИНА С. М., ДРЕМУК И. А., ЕМЕЛЬЯНОВА А. В., ПРИЩЕПЧИК Ю. В., УСАТОВ А. В.
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) С РАЗНЫМ УРОВНЕМ АНТОЦИАНОВ В КОЛЕОПТИЛЯХ 283

БАЛЮК Н. В., ЛАМАН Н. А., КАЛАЦКАЯ Ж. Н., ГРИЦ А. Н., МАНДРИК-ЛИТВИНКОВИЧ М. Н., ГИРИЛОВИЧ Н. И.
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) ПРИ ОБРАБОТКЕ БИОПРЕПАРАТАМИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЛАГООБЕСПЕЧЕНИЯ 296

ИВАНОВ О. А., ДОМАШ В. И., КАНДЕЛИНСКАЯ О. Л., ГРИЩЕНКО Е. Р., ШАРПИО Т. П., ЗАБРЕЙКО С. А., ТЕРЕЩЕНКО Е. Г.
БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ТЕХНОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ (НА ПРИМЕРЕ СОЛИГОРСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА) 306

КАБАШНИКОВА Л. Ф., САВЧЕНКО Г. Е., АБРАМЧИК Л. М., ДОМАНСКАЯ И. Н., ПАШКЕВИЧ Л. В., ПИЛИПОВИЧ Т. С., МАРТЫСЮК А. В.
ВЛИЯНИЕ СВЕТА РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ МЕМБРАН И ПАРАМЕТРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТАТУСА РАСТЕНИЙ ОГУРЦА (*CUCUMIS SATIVUS* L.) ПРИ ФУЗАРИОЗНОМ УВЯДАНИИ 322

КАРАСЕВА Е. Н.
ДИОСКОРЕЯ КРЫЛАТАЯ (*DIOSCOREA ALATA* L.) – ПЕРСПЕКТИВНОЕ ДЛЯ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ ЛЕКАРСТВЕННОЕ И ВЫСОКОДЕКОРАТИВНОЕ РАСТЕНИЕ (ОБЗОР) 333

КУЛАГИН Д. В., КУСЕНКОВА М. П., КОНСТАНТИНОВ А. В., БОГИНСКАЯ Л. А., РАЗУМОВ А. С., УЛЬДИНОВИЧ С. В.
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОКЛОНАЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ОСИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МУЛЬТИПЛИКАЦИИ 342

ОБУХОВСКАЯ Л. В., КУДЕЛИНА Т. Н., КОНСТАНТИНОВ А. В.
РОСТ И РАЗВИТИЕ МИКРОКЛОНОВ РЕГЕНЕРАНТОВ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ (*BETULA PENDULA* VAR. *CARELICA* MERCL.) ИЗ АПИКАЛЬНЫХ И МЕДИАЛЬНЫХ ЧЕРЕНКОВ НА СВЕТУ РАЗНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА 351

ПРОХОРОВ В. Н.
ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА НИГЕЛЛА (*NIGELLA* L.) – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫЕ КУЛЬТУРЫ 365

РУПАСОВА Ж. А., ЯКОВЛЕВ А. П., БЕЛЫЙ П. Н., ВАСИЛЕВСКАЯ Т. И., КРИНИЦКАЯ Н. Б., ЗАДАЛЯ В. С., КОЛОМИЕЦ Э. И., АЛЕЩЕНКОВА З. М., АНАНЬЕВА И. Н., КАРТЫЖОВА Л. Е., КЛИШЕВИЧ Н. Г., КАРБАНОВИЧ Т. М., РАДКЕВИЧ А. М.
ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛОДАХ КЛЮКВЫ КРУПНОПЛОДНОЙ (*OXYCOCCUS MACROCARPUS* AIT. PERS.), ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНИКАХ ВЕРХОВОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ..... 380

СУХОВЕЕВА С. В., КАБАЧЕВСКАЯ Е. М., ВОЛОТОВСКИЙ И. Д.
ГРАВИТРОПНАЯ И НАСТИЧЕСКАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ В НАДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ ТОМАТА..... 401

ШУКАНОВ В. П., МАШКИН И. А., МЕЛЬНИКОВА Е. В., КОРЫТЬКО Л.А., ПОЛЯНСКАЯ С.Н.
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ БОЛЕЗНЕУСТОЙЧИВОСТИ ДВУЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ ЕЛИ (*PICEA ABIES* L.) ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 411

УСИК А. В.
СЕКРЕТОРНЫЕ СТРУКТУРЫ РАСТЕНИЙ БОРЩЕВИКОВ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN. И *HERACLEUM SIBIRICUM* L. 420

Ботанические находки

БЕЛОМЕСЯЦЕВА Д. Б., ПЕТЛИЦКАЯ Н. М., ШАБАШОВА Т. Г., КОРОЛЕНЯ-БАРАНСКАЯ Е. О.
НОВЫЙ ДЛЯ БЕЛАРУСИ ВОЗБУДИТЕЛЬ ДЕФОРМАЦИИ ЛИСТЬЕВ ДУБА – *TAPHRINA CAERULESCENS* 427

Юбиляры

ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ ШУКАНОВ (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)..... 430

ТАТЬЯНА ЛЕОНИДОВНА БАРСУКОВА (К 60-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)..... 432

НАТАЛИЯ АЛЕКСЕЕВНА ЗЕЛЕНКЕВИЧ (К 50-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)..... 434

CONTENTS

PUGACHEVSKI A. V., SUDNIK A. F.
INSTITUTE OF EXPERIMENTAL BOTANY OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS: FORMATION AND RESEARCH HISTORY, THE PRESENT AND THE FUTURE LINES OF DEVELOPMENT (TO THE 90-th ANNIVERSARY) 5

Flora and Systematics

PARFENOV V. I., DMITRIEVA S. A., SAUCHUK S. S., LEBEDKO V. N.
THE MAIN RESULTS AND PROSPECTS OF STUDYING THE WILD RELATIVES OF CULTIVATED PLANTS 41

GRUMMO D. G., ZELIANKEVICH N. A., MOJSEJCHIK E. V., SKURATOVICH A. N.
ASSESSMENT OF DYNAMIC CHANGES IN FLORA AND VEGETATION OF THE ACCIDENT AREA AT THE CHERNOBYL NPP 48

DUBOVIK D. V., SAUCHUK S. S., SKURATOVICH A. N., LEBEDKO V. N., SAULOV A. O.
MATERIALS ABOUT NEW RARE AND PROTECTED SPECIES OF VASCULAR PLANTS IN FLORA OF BELARUS 82

MASLOVSKY O. M.
ANALYSIS OF THE EASTERN EUROPEAN BRYOFLORA BY THE GEOGRAPHICAL LATITUDINAL ELEMENTS 95

CHUMAKOV L. S., LEVKOVICH A. V., MASLOVSKY O. M., RYBKO N. G., SYSOY I. P., SHIMANOVICH R. V., RODIONOV P. A.
SPATIAL DISTRIBUTION AND ASSESSMENT OF THE STATE OF POPULATIONS OF RARE AND ENDANGERED PLANT SPECIES ON TERRITORY OF MINSK 107

Phytocenology

GARBARUK D. K., UHLIANETS A. V., SHUMAK S. V.
POTENTIAL CONTRIBUTION OF BLACK ALDER PLANTATIONS COMPONENTS INTO FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS AND THE ^{137}Cs AND ^{90}Sr CONTENT ON THE PROTECTED AREA OF THE PSRER 123

HRYSHCHANKAVA N. D.
ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ECOSYSTEM R. SVISLOCH – R. BEREZINA BASED ON MONITORING OF AQUATIC VEGETATION 140

GRUMMO D. G.
ASSESSMENT OF THE BIODIVERSITY STATE OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS BASED ON DIGITAL VEGETATION MAP 155

YERMOKHIN M. V., BARSUKOVA T. L., UHLYANETS S. A., LUKIN V. V., KNYSH N. V., DUDKINA L. A., MYCHKO V. E., BERNATSKI D. I.
DYNAMICS AND CONDITION OF BOG AND BOGGY PINE FORESTS IN BELOVEZHSKAYA PUSHCHA 171

KULIKOVA E. Y., ERMOLENKOVA G. V., DOBYSH K. V., VOZNYACHUK N. L., ROMANOVA M. L., PUCHILO A. V.
MODERN PHYTOCENOTIC STRUCTURE OF FLOODL AND GRASSLANDS OF R. PRIPYAT IN THE TRACTS «TUROVSKY MEADOW» AND «POGOST» 195

PUCHILO A. V.
DISTRIBUTION OF ELM FOREST IN BELARUS 210

ROMANOVA M. L., PONTUS A. R., ZENKOVICH S.V., MAKSIMOV M. M.
APPRECIATION OF THE PLANTATION STATE IN GREEN AREAS OF MINSK ON THE BASIS OF GROUND AND SPACE RESEARCH DATA..... 217

SUDNIK A. V., STEPANOVICH I. M., TOLKACHEVA N. V., GOLUSHKO R. M., POTAPENKO A. M., KOMAR A. Y., MASHKOV I. A., SERENKOVA V. A., SOSINOV O. V.
RESULTS OF ECOLOGICAL ASSESSMENT OF LANDS WITH CHANGED HYDROLOGICAL REGIME IN FOREST FUND OF BELARUS AND PROPOSALS FOR THEIR USE..... 231

Mycology and Phytopatology

BELOMESYATSEVA D. B., SHABASHOVAT.G., SINYAVSKAYA M. G., ZVYAGINTSEV V. B.
INVASIVE DENDROPATHOGENIC MICROMYCETES IN THE MICOBIOTA OF SOUTHWEST BELARUS 248

KORINIAK S. I., LEBEDKO V. N.
PHYTOPATOGENIC MICROMYCETES ON THE PLANTS FROM RANUNCULACEAE FAMILY IN THE NATIONAL PARK «BIELOVEGSKAJA PUSCHA»..... 261

SHABASHOVA T. G., BELOMESIAYTSEVA D. B., SINYAVSKAYA M. G., KARMANOVA V. V.
THE SPECIES OF DENDROPHILOUS FUNGI OF THE NATIONAL PARK «BELOVEZHSKAYA PUSHCHA»..... 272

Plant Physiology and Ecology

AVERINA N. G., SAVINA S. M., DREMUK I. A., YEMELYANAVA H. V., PRISCHEPCHIK YU. V., USATOV A. V.
PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) VARIETIES WITH DIFFERENT LEVELS OF ANTHOCYANINS IN COLEOPTILES.... 283

BALIUK N. V., LAMAN N. A., KALATSKAJA J. N., GRITS A. N., MANDRYK-LITVINKOVICH M. N. , GIRILOVICH N. I.
PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PECULIARITIES OF POTATO PLANTS (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF PEAT-BASED SOIL MOISTURE SUPPLY DURING TREATMENT WITH BIOLOGICS 296

IVANOV O. A., DOMASH V. I., KANDELINSKAYA O. L., GRISHCHENKO E. R., SHARPIO T. P., ZABREIKO S. A., TERESHCHENKO E. G.
BIOCHEMICAL MECHANISMS OF FOREST PLANTS ADAPTATION TO TECHNOGENIC CONTAMINATION OF THE SOLIGORSK MINING INDUSTRIAL COMPLEX 306

KABASHNIKOVA L. F., SAVCHENKO G. E., ABRAMCHIK L. M., DOMANSKAYA I. N., PASHKEVICH L. V., PILIPOVICH T. S., MARTYSIUK H. V.
IMPACT OF LIGHT OF DIFFERENT INTENSITY ON THE STRUCTURAL AND FUNCTIONAL STATE OF PHOTOSYNTHETIC MEMBRANES AND THE PARAMETERS OF THE OXLITIVE STATUS OF CUCUMBER PLANTS (*CUCUMIS SATIVUS* L.) UNDER FUSARIUM WILT 322

KARASEVA A. N.
***DIOSCOREA ALATA* L. AS PROSPECTIVE MEDICINAL AND HIGHLY DECORATIVE PLANT FOR THE CONDITIONS OF BELARUS (REVIEW) 333**

KULAGIN D. V., KUSENKOVA M. P., KONSTANTINOV A. V., BOGINSKAYA L. A., RASUMOV A. S., ULDINOVICH S. V.
OPTIMIZATION OF THE CULTIVATION CONDITIONS FOR ASPEN MICROPLANTS TO INCREASE THE MULTIPLICATION RATE 342

OBUKHOVSKAYA L. V., KUDELINA T. N., KONSTANTINOV A. V.
GROWTH AND DEVELOPMENT OF MICROCLONALLY PROPAGATED REGENERANTS FROM APICAL AND MEDIAL CUTTINGS OF CURLY BIRCH (*BETULA PENDULA VAR. CARELICA* MERCL.) UNDER LIGHT OF DIFFERENT SPECTRAL COMPOSITION ... 351

PROKHOROV V. N.
NIGELLA (*NIGELLA* l.) AS PROSPECTIVE ECONOMICALLY USEFUL CULTURE (REVIEW) 365

RUPASOVA ZH. A., YAKOVLEV A. P., BELY P.N., VASILEUSKAYA T. I., KRINYTSKAYA N. B., ZADALIA V. S., KOLOMIETS E. I., ALESHCHENKOVA Z. M., ANANIEVA I.N., KARTYZHOVA L.E., KLISHEVICH N. G., KARBANOVICH T. M., RADKEVICH A. M.
INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON ACCUMULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN FRUITS OF *OXYCOCCUS MACROCARPUS* AIT. PERS. ON DEVELOPED PEAT DEPOSIT OF HIGH TYPE IN THE CONDITIONS OF BELARUS 380

SUKHAVEYEVA S. V., KABACHEVSKAYA A. M., VOLOTOVSKI I. D.
GRAVITROPIC AND NASTIC MOVEMENTS IN ABOVE-GROUND ORGANS OF TOMATO PLANTS.....401

SHUKANOV V. P., MASHKIN I. A., MELNIKOWA E. V., KORYTSKO L. A., POLYANSKAYA S. N.
PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL FEATURES OF INCREASING DISEASE RESISTANCE OF TWO-YEARES SPRUCE SEEDLINGS (*PICEA ABIES* L.) UNDER THE INFLUENCE OF TREATMENT WITH NATURAL GROWTH REGULATORS 411

VUSIK A. W.
SECRETORY STRUCTURES IN *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN AND *HERACLEUM SIBIRICUM* L. 420

Botanical discoveries

BELOMESYATSEVA D. B., PETLITSKAYA N. M., SHABASHOVA T. G., KOROLENYA-BARANSKAYA YE. O.
OAK LEAF DISEASE CAUSED BY THE FUNGUS *TAPHRINA CAERLESCENS* IS NEW IN BELARUS 427

Jubilee

V. P. SHUKANOV (to the 75th anniversary).....430

T. L. BARSUKOVA (to the 50th anniversary) 432

N. A. ZELIANKEVICH (to the 40th anniversary) 434

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Основным условием публикации статей является их соответствие профилю издания, новизна и информативность содержания. Статьи принимаются редакцией и издаются на **русском**, **белорусском** и **английском языках** в зависимости от того, на каком языке сданы авторами. Объем статьи не должен превышать **16 страниц (около 40 тыс. знаков)**, поля верхнее и нижнее 2 см, левое 3 см, правое 1,5 см. Шрифт – **Times New Roman**, межстрочный интервал – **1,0**. Статья подписывается всеми авторами.

На отдельных листах прилагаются: 1) сведения на *русском* (*белорусском*) и *английском языках* с фамилиями, именами, отчествами авторов, указанием их должности, научной степени и звания; полным названием учреждения, почтовым и электронным адресом и телефоном для сообщений. 2) акт экспертизы и сопроводительное письмо руководства или выписка из протокола заседания ученого совета (отдела, кафедры) учреждения, в котором выполнялась работа.

Структурные элементы статьи должны располагаться в следующей последовательности:

1. Индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК) – **кегль 14**.

2. Инициалы и фамилии авторов – **кегль 14**.

3. Название статьи – **кегль 14**. В названии статьи необходимо дублировать на латыни типовое название растения. Латинское название родов и видов печатается *курсивом*, название семейства и ссылка на автора прямым шрифтом.

4. Полное наименование учреждений с указанием города, страны, адреса электронной почты авторов – **кегль 12**. Если статья оформляется несколькими учреждениями, то на титульном листе после ФИО каждого автора ставится верхний цифровой индекс (^{1}, ^{2}, ^{3}), он же ставится перед названием учреждения.

5. Аннотация (кратко и информативно излагаются цели, методы и результаты работы (100–200 слов) с ключевыми словами (отражают содержание текста в терминах объектов, научной отрасли и методов исследования – **5–10 слов**) на *русском* (*белорусском*) и *английском языках* – **кегль 12**. В русско- и белорусскоязычных статьях в аннотациях на *английском языке* следует полностью приводить все данные, предшествующие основному тексту статьи; в англоязычных статьях вышеуказанные данные приводятся в аннотациях на *русском* (*белорусском*) *языках*.

6. Основной текст статьи, содержащий рубрики: «Введение», «Материалы (объекты) и методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Заключение» – **кегль 14**. Графический материал и таблицы вставляются в основной текст, общее количество не должно превышать **8–10**, **кегль 12** (в исключительных случаях текст в таблицах набирается **кегль 10 или 11**). Текст на рисунках набирается основной гарнитурой, причем начертание символов (латинское, греческое) должно соответствовать их начертанию в тексте. В русско- и белорусскоязычных статьях заголовки таблиц (в т. ч. колонок) и подрисуночные подписи даются на *русском* (*белорусском*) и *английском языках*.

7. Под заголовком «Благодарности» (Падзяка») или «Acknowledgements» сообщается информация о финансовой поддержке проектов грантами, а также о консультативной или методической помощи в проведении исследований.

8. Литература (цитируемые источники) – **от 15 до 40 ссылок**, **кегль 12**, приводятся общим списком в порядке упоминания, в тексте представлены порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1], [2,3]). **Список оформляется в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003)**. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. При наборе списка литературы нумерация не автоматическая.

Все материалы представляются распечатанными на белой бумаге (в 2-х экземплярах) и в электронном варианте. Электронный вариант сообщения должен быть набран в Word для Windows, абзацы: отступ 1 см, выравнивание по ширине, автоматические переносы – отключены, для формул – формульный редактор Word. Вставку специальных символов выполнять через меню «Вставка/Символ». Верхний и нижний индексы (C^{4}, C_{2}) выполнять через меню «Формат/Шрифт/Верхний индекс», «Формат/Шрифт/Нижний индекс). Грече-

ские буквы брать из гарнитуры “Symbol”, а не “Times New Roman”. Символы химических элементов (N, Fe, Cl и др.) набираются прямым шрифтом. Графический материал и таблицы дополнительно предоставляются в электронном виде как отдельные файлы. Формат файлов: для таблиц Word, для растровых изображений – jpg или bmp, для векторных – в формате wmf (Windows meta file) или cdr (Coreldraw).

Поступившие в редакцию рукописи регистрируются, рассматриваются на соответствие профилю издания, соблюдение правил оформления и направляются на рецензирование. По рекомендации рецензента рукописи могут быть возвращены авторам на доработку. Переработанные статьи передаются редколлегии для принятия решения о публикации их в очередном выпуске сборника.

Статьи с материалами о новых таксонах обязательно должны сопровождаться присылкой типа или изотипа этих таксонов. Со статьями о новых флористических находках должны быть представлены дубликаты образцов.

Материалы с сопроводительными документами следует направлять по адресу: Республика Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 27; ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси», редакция сборника научных трудов «Ботаника (исследования)». Тел. для справок: **+375 17 374 00 27**.

Электронный вариант сообщения предоставляется на диске, флэшке или присылается в редакцию по электронной почте: **nan.botany@yandex.by**.

Научное издание

БОТАНИКА
(ИССЛЕДОВАНИЯ)

Выпуск 50

Ответственный за выпуск *Е. С. Патей*
Компьютерная верстка *А. А. Микулевич*

Подписано в печать 03.12.2021. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 26,5.
Уч.-изд. л. 25,4. Тираж 180 экз. Заказ 20287.

Издатель и полиграфическое исполнение:
общество с ограниченной ответственностью «Колорград».
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/471 от 28.07.2015.
Пер. Велосипедный, 5-904, 220033, Минск.

+375 17 361 91 40
post@segment.by
segment.by