

ВЕСЦІ НАЦЫЯНАЛЬнай АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ БІЯЛАГІЧНЫХ НАВУК. 2017. № 3

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК. 2017. № 3

Журнал основан в 1956 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 395 от 18 мая 2009 г.

*Журнал входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований, включен в базу данных
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).*

Главный редактор

Никифоров Михаил Ефимович – Отделение биологических наук НАН Беларуси

Редакционная коллегия

И. Д. Волотовский – Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук
Беларуси (*заместитель главного редактора*)

В. И. Парфенов – Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии
наук Беларуси (*заместитель главного редактора*)

В. Г. Колосовская – *ведущий редактор журнала*

А. Н. Евтушенко – Белорусский государственный университет

А. В. Кильчевский – Президиум Национальной академии наук Беларуси

Э. И. Коломиец – Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси

Н. А. Ламан – Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии
наук Беларуси

А. Г. Лобанок – Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси

В. Е. Падутов – Институт леса Национальной академии наук Беларуси
В. Н. Решетников – Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси
В. В. Титок – Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси
Л. В. Хотылева – Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси
С. Н. Черенкевич – Белорусский государственный университет
Н. В. Шальго – Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси
В. М. Шкуматов – Белорусский государственный университет

Редакционный совет

В. Ф. Багинский – Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины (Республика Беларусь)
А. Баршевский – Даугавпилский университет (Латвия)
Я. Б. Блюм – Институт пищевой биотехнологии и геномики Национальной академии наук Украины (Украина)
В. В. Валетов – Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина (Республика Беларусь)
В. Е. Гайдук – Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина (Республика Беларусь)
Ю. Ю. Дгебуадзе – Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук (Российская Федерация)
Н. А. Колчанов – Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Российская Федерация)
В. В. Кузнецов – Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук (Российская Федерация)
В. Олех-Пяэцка – Варшавский университет сельского хозяйства (Польша)
О. Н. Пугачев – Зоологический институт Российской академии наук (Российская Федерация)
А. И. Рапопорт – Институт микробиологии и биотехнологии Латвийского университета (Латвия)
И. А. Тихонович – Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (Российская Федерация)
Е. Е. Фесенко – Институт биофизики клетки Российской академии наук (Российская Федерация)
В. В. Швартау – Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины (Украина)
Н. К. Янковский – Институт общей генетики им. Н. И. Вавилова Российской академии наук (Российская Федерация)

Адрес редакции:

*ул. Академическая, 1, к. 119, 220072, г. Минск, Республика Беларусь.
Тел.: + 375 17 284-19-19; e-mail: biolvesti@mail.ru*

Сайт: vestibio.belnauka.by

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.

Серия биологических наук. 2017. № 3.

Выходит на русском, белорусском и английском языках

Редактор *В. Г. Колосовская*

Компьютерная верстка *О. Л. Смольской*

Подписано в печать 19.07.2017. Выход в свет 28.07.2017. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 88 экз. Заказ 130.

Цена: индивидуальная подписка – 10,34 руб., ведомственная подписка – 25,29 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск, Республика Беларусь

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука»,
Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук, 2017

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

BIOLOGICAL SERIES, 2017, no. 3

The Journal was founded in 1956

Issued four times a year

Founder is the National Academy of Sciences of Belarus

The Journal is registered on May 18, 2009 by the Ministry of Information of the Republic of Belarus
in the State Registry of Mass Media, reg. no. 395

*The Journal is included in the List of Journals for Publication of the results
of Dissertation Research in the Republic of Belarus and in the database
of Russian Science Citation Index (RSCI)*

Editor-in-Chief

Nikiforov Mikhail Yefimovich – Department of Biological Sciences of the National Academy
of Sciences of Belarus

Editorial Board

- I. D. Volotovski** – Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus
(*Associate Editor-in-Chief*)
- V. I. Parfyonov** – V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences
of Belarus (*Associate Editor-in-Chief*)
- V. G. Kolosovskaya** – *Managing Editor*
- S. N. Cherenkevich** – Belarusian State University
- A. N. Evtushenkov** – Belarusian State University
- L. V. Khotyleva** – Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus
- A. V. Kilchevsky** – Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus
- E. I. Kolomiets** – Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
- N. A. Laman** – V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus
- A. G. Lobanok** – Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus
- V. E. Padutov** – Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus
- V. N. Reshetnikov** – Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus
- N. V. Shalygo** – Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus

V. M. Shkumatov – Belarusian State University
V. V. Titok – Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus

Editorial Council

V. F. Baginski – F. Skorina Gomel State University (Republic of Belarus)
A. Barsevskis – Daugavpils University (Latvia)
Ya. B. Blume – Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)
Yu. Yu. Dgebuadze – A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
V. E. Gayduk – A. S. Pushkin Brest State University (Republic of Belarus)
N. A. Kolchanov – Institute of Cytology and Genetics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
V. V. Kuznetsov – K. A. Timiriazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
W. Olech-Piasecka – Warsaw University of Life Sciences (Poland)
O. N. Pugachev – Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
A. I. Rapoport – Institute of Microbiology and Biotechnology of University of Latvia (Latvia)
V. V. Schwartau – Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine)
I. A. Tikhonovich – All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (Russian Federation)
E. E. Phesenko – Institute of Cell Biophysics of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation)
V. V. Valetov – I. P. Shamyakin Mozyr State Pedagogical University (Republic of Belarus)
N. K. Yankovski – Vavilov Institute of General Genetics. Russian Academy of Sciences (Russian Federation)

Address of the Editorial Office:
1, Akademicheskaya Str., room 119, 220072, Minsk, Republic of Belarus.
Tel.: + 375 17 284-19-19; e-mail: biolvesti@mail.ru
Website: vestibio.belnauka.by

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS.
Biological series. 2017. no. 3.

Printed in Russian, Belarusian and English languages

Editor *V. G. Kolosovskaya*
Computer imposition *O. L. Smolskaya*

It was sent of the press 19.07.2017. Appearance 28.07.2017. Format 60×84 ¹/₈. Offset paper. Digital press.
Printed pages 14,88. Publisher's signatures 16,4. Circulation 88 copies. Order 130.
Number price: individual subscription – 10,34 byn., departmental subscription – 25,29 byn.

Publisher and printing execution:
Republican Unitary Enterprise “Publishing House “Belaruskaya Navuka””.
Certificate on the state registration of the publisher, manufacturer, distributor of printing editions no. 1/18
dated August 2, 2013. License for the press no. 02330/455 dated December 30, 2013.
Address: 40, F. Skorina Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus.

© RUE “Publishing House “Belaruskaya Navuka”,
Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series, 2017

ISSN 1029-8940 (print)

ЗМЕСТ

Демянчик В. В., Никифоров М. Е. Синантропный экологический комплекс и структура населения позвоночных на селитебных территориях Белорусского Полесья	7
Павловский Н. Б. Биоморфологические особенности сортов голубики высокорослой, интродуцированных в Беларуси	18
Гаранович И. М., Македонская Н. В., Архаров А. В., Блинковский Е. Д. Влияние биологически активных веществ на рост и развитие саженцев декоративных древесно-кустарниковых растений	26
Кручонок А. В., Бедуленко М. А., Аношенко Б. Ю., Титок В. В. Искусственные ценопопуляции редких и исчезающих видов белорусской флоры на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси	32
Межнина О. А., Урбанович О. Ю. Анализ вариабельности микросателлитных локусов у представителей рода смородины (<i>Ribes L.</i>), выращиваемых в Беларуси	45
Мороз М. Д., Липинская Т. П. Таксономический состав пиявок (Hirudinea: Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) реки Неман и ее притоков	55
Мельникова А. А., Волкова Д. С., Храмова Е. А. Характеристика <i>acdS</i> -гена бактерий <i>Pseudomonas putida</i> В-37 и создание генетической конструкции для определения его транзиторной экспрессии в растительных клетках <i>Nicotiana benthamiana</i>	61
Шабнам Г. Фарахани, А. Войталь-Франкевич, П. Франкевич, Ж. Бусева. Анализ отдельных видов Cladocera и Sclerocera мезотрофного озера с использованием Phenom PROX-SEM/EDS (на англ. яз.)	69
Карасёва Е. Н., Янчевская Т. Г., Макарова Т. Б. Физиолого-биохимическая оценка биологически активных веществ в клубнях <i>Dioscorea alata L.</i> , выращенной в защищенном грунте	77
Переход А. В. О дифференциации древесных особей в культурах сосны обыкновенной	84
Мамедов Т. С., Гюльмамедова Ш. А. Биоразнообразие декоративных растений и их рациональное использование в условиях Азербайджана	89

АГЛЯДЫ

Волотовский И. Д., Квачева З. Б. Морфофункциональные основы создания искусственной кожи (дермальных эквивалентов)	96
Соболевская И. С., Мяделец О. Д., Пашинская Е. С. Циркадные ритмы и метаболизм липидов в животных клетках. Часть II. Влияние циркадных ритмов на общий покров и жировую ткань. Десинхроноз и липидный обмен	104
Спиридович Е. В., <u>Фоменко Т. И.</u>, Власова А. Б., Козлова О. Н., Вайновская И. Ф., Юхимук А. Н., Кузьменкова С. М., Носиловский О. А., Решетников В. Н. Асептическая коллекция и банк ДНК Центрального ботанического сада НАН Беларуси как эффективные инструменты сохранения редких растений	117

CONTENTS

Demianchyk V. V., Nikiforov M. E. Synanthropic ecological complex and structure of the population of vertebrate animals of residential territories of Belarusian Polesie	7
Pavlovskiy N. B. Morphobiological particularities of the plants of highbush blueberry cultivars introduced in Belarus	18
Garanovich I. M., Makedonskaya N. V., Arkharov A. V., Blinkovskii E. D. Impact of biologically active substances on growth and development of seedlings of ornamental woody plants	26
Kruchonok A. V., Bedulenko M. A., Anoshenko B. Yu., Titok V. V. Artificial cenopopulations of rare and endangered belarusian flora species in the Central Botanical Garden of NAS of Belarus	32
Mezhnina O. A., Urbanovich O. Yo. Analysis of microsatellite loci variability <i>Ribes</i> L. representatives grown in Belarus	45
Moroz M. D., Lipinskaya T. P. Taxonomic composition of leeches (Hirudinea: Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) of the Neman river and its tributaries	55
Melnikava A. A., Volkava D. S., Khramtsova E. A. Characteristics of bacterial <i>acdS</i> -gene from the strain <i>Pseudomonas putida</i> B-37 and the creation of a genetic construct for determining its transient expression in the plant cells <i>Nicotiana benthamiana</i>	61
Shabnam G. Farahani, Wojtal-Frankiewicz A., Frankiewicz P., Buseva Zh. Analysis of individual Cladocera and Copepods from mesotrophic lake using the Phenom PROX-SEM/EDS	69
Karaseva E. N., Yanchevskaya T. G., Makarova T. B. Physiological-biochemical assessment of the biologically active substances <i>Dioscorea alata</i> L., growing in the protected soil	77
Perekhod A. V. On the differentiation of the woody special in the cultures of <i>Pinus silvestris</i>	84
Mammedov T. S., Gulmammedova Sh. A. Biodiversity of decorative plants and its rational use in conditions of Azerbaijan	89

REVIEWS

Volotovskii I. D., Kvacheva Z. B. Morphology and function basis of the creation artificial skin (dermal equivalents)	96
Sobolevskaya I. S., Myadelets O. D., Pashinskaya E. S. Circadian rhythm and lipid metabolism in animal cells. Part II. Influence of the circadian rhythm on the skin and fat tissues. Desynchronizes and lipid metabolism	104
Spiridovich E. V., Fomenko T. I., Vlasava N. B., Kozlova O. N., Vaynovskaya I. F., Yukhimuk A. N., Kuzmenkova S. M., Nosylovsky O. A., Reshetnikov V. N. Conservation of rare plants in the aseptic collection and DNA bank of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus	117

В. В. Демянчик¹, М. Е. Никифоров²

¹*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Брест, Республика Беларусь*

²*Отделение биологических наук НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

СИНАНТРОПНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ПОЗВОНОЧНЫХ НА СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

С помощью топического и репродуктивного качественных критериев определен синантропный экологический комплекс позвоночных животных. Дана также оценка относительной численности их видов в селитебных (населенные пункты) и естественных биотопах Белорусского Полесья. В контексте синантропности виды позвоночных животных классифицированы как синантропные, спорадично-синантропные, эвритопно-синантропные. В синантропный экологический комплекс объединены специфичные для селитебных экосистем виды, относительная численность особей которых в репродуктивный период или их группировок (колоний) в стациях селитебных экосистем достоверно выше, чем в аналогичных стациях естественных экосистем. Синантропные виды в совокупности со спорадично-синантропными и эвритопно-синантропными видами образуют синантропное животное население селитебных экосистем.

Репродукционные станции населения позвоночных животных на селитебных территориях представлены пятью категориями: техническими, агро-селитебными, кустарниково-селитебными, древесно-селитебными, прибрежно-селитебными. В современных условиях региона к синантропным отнесено 60 видов, в том числе 3 вида земноводных, 35 видов птиц, 22 вида млекопитающих. К спорадично-синантропным видам отнесен 101 вид наземных позвоночных животных.

Ключевые слова: позвоночные животные, синантропные виды, селитебные территории, Белорусское Полесье.

V. V. Demianchyk¹, M. E. Nikiforov²

¹*Polesie Agrarian-ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Republic of Belarus*

²*Department of Biological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

SYNANTHROPIC ECOLOGICAL COMPLEX AND STRUCTURE OF THE POPULATION OF VERTEBRATE ANIMALS OF RESIDENTIAL TERRITORIES OF BELARUSIAN POLESIE

The synanthropic ecological complex of vertebrate animals is defined by topical and reproductive qualitative criteria. Also the assessment of relative number of this species in residential ecosystems (settlements) and natural biotopes of the Belarusian Polesie is given. Species of vertebrate animals are classified in three groups: synanthropic, sporadically-synanthropic, eurytopic-synanthropic in the context of synanthropic process. Synanthropic ecological complex formed by species that specific to residential ecosystems, the relative number of individuals or groups (colonies) in reproductive period in areas of residential ecosystems reliable above, than in similar areas of natural ecosystems are united. Synanthropic species in total with sporadically-synanthropic and eurytopic-synanthropic species are forming the animal (synanthropic) population of residential ecosystems.

Reproductive areas of the population of vertebrate animals in residential territories are provided by 5 categories: the technical; agro-residential; bush-residential; tree-residential; waterside-residential. In modern conditions of the region 60 species are carried to the synanthropic, including amphibians – 3 species, birds – 35 species, mammals – 22). 101 species of land vertebrate animals are carried to sporadically-synanthropic species.

Keywords: vertebrate animals, synanthropic species, residential territories, Belarusian Polesie.

Введение. Изучение динамики структуры населения позвоночных животных в различных типах экосистем является неотъемлемой составляющей мониторинга, позволяющего оценить влияние различных факторов на их состояние и выявить тренды трансформации в изменяющихся условиях окружающей среды. В последние десятилетия селитебные экосистемы, сформировавшиеся в условиях населенных пунктов и производственных объектов, претерпели существенные изменения, касающиеся соотношения площадей сельских и городских населенных пунктов,

уменьшения общего числа населенных пунктов и степени их урбанизации, изменения характера напочвенного покрова и растительности, спектра других биотических и абиотических (техногенных) факторов. Характерной биотопической группой животного населения селитебных экосистем является так называемый синантропный экологический комплекс позвоночных животных. До настоящего времени состав видов данного комплекса животных для территории Беларуси полностью не был определен. Для экологической классификации наземных позвоночных разных групп применяют различные подходы, в основе которых – определение их количества, экспресс-оценка, регистрация встреч, учет следов жизнедеятельности и т. д. [1–9]. Однако единых четких критериев для выработки подхода или методики дифференциации видов на экологические группы, в том числе и для выделения синантропного экологического комплекса в отношении всей совокупности видов позвоночных животных, для территории Беларуси или сопредельных стран пока не создано. Сложность определения полного состава синантропного комплекса позвоночных обусловлена биологией многих эвритопных видов, нечеткостью экологических «границ» селитебных экосистем, недостатком данных о распределении видов животных, ведущих скрытый образ жизни.

В данной статье наряду с кратким обзором проблемы оценивается современный видовой состав и стациальные особенности населения наземных позвоночных животных селитебных территорий Белорусского Полесья в 2005–2013 гг. и ранее, предлагаются критерии для классификации.

Материалы и методы исследования. В качестве модельных зоогеографических районов выбраны Западно-Полесский и Центрально-Полесский, в связи с тем, что преимущественно через эти районы внедрялось на остальную территорию Беларуси большинство новых синантропных видов позвоночных, а также, по-видимому, большинство синантропных группировок или городских популяций гнездящихся видов птиц [6, 10–15], и здесь они представлены наиболее полно.

Использованы литературные сведения (1913–2013 гг.) и оригинальные данные, собранные в 1980–2016 гг. в разных районах Беларуси. Учтены также литературные данные по численности видов на близлежащих территориях [16–18].

Для выяснения видового состава и относительной численности позвоночных животных в 2010–2013 гг. проведены учеты численности на 11 стационарах, охватывающих всю территорию Брестской области и представляющих основные урбанистические типы местообитаний из расчета максимально полного покрытия стациального многообразия как селитебных (населенные пункты), так и сопредельных (прилегающие межселенные территории) биотопов в равных пропорциях. Стационары исследований: Выгонощи, Бобровичи, Ивацевичи, Турна Большая, Брест, Томашовка, Пинск, Стахово, Коробье, Семигостици, Белое озеро.

В юго-западной части Беларуси в 2005–2016 гг. кроме стационарных проведены эпизодические исследования видового состава и относительной встречаемости фоновых видов позвоночных животных на территории 89 населенных пунктов и их окрестностей.

Для изучения видового состава и численности позвоночных в населенных пунктах и их окрестностях использовали методы маршрутно-точечных учетов в ходе визуальных и голосовых регистраций особей, а также специальные методы (регистрация ультразвуковых сигналов рукокрылых и направленный поиск особей в возможных укрытиях) согласно принципам, рекомендуемым Национальной системой мониторинга окружающей среды и другими источниками [1].

Наряду с авторскими данными информация по редким видам представлена также из фондовых материалов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси и литературных источников. Для мобильных и территориально активных видов (лесной хорь, летучие мыши, крысы и некоторые другие виды) приведены только данные находок выводков, колоний, гнезд или фактов поимок молодых особей. В ходе изучения биотопического распределения наземных млекопитающих (хищников, грызунов) и сравнительной оценки их встречаемости принимались в расчет факты отлова особей в капканные орудия лова и результаты изучения остатков питания оседлых видов хищных животных (сов).

Результаты и их обсуждение. Выделение группы видов животных, характерных обитателей поселений человека, впервые для территории Беларуси предпринято В. Н. Шнитниковым в начале прошлого столетия [10]. По данным этого автора, в южной половине современной территории

Беларуси среди птиц «исключительно встречающимися в садах, парках и усадьбах человека» названы 10 видов, в том числе «по совокупности биологических особенностей к характерной группе «мирских захребетников» – 6 видов: городская и деревенская ласточка, белый аист, домовый воробей, домовый сыч, белая трясогузка. К этой же синантропной группе с рядом оговорок автором отнесен и ряд других видов птиц [10]. В последующий период в ряде работ по экологии позвоночных животных Беларуси и сопредельных стран также выделена и охарактеризована группа типичных видов обитателей населенных пунктов – синантропных животных [2–5, 11, 12, 16–18]. Однако в указанных работах не приводятся четкие критерии для аргументированного выделения группы синантропных видов, что затрудняет проведение каких-либо аналитических сравнений. В зарубежных источниках используются различные подходы, но они также базируются в основном на качественных характеристиках видов позвоночных населенных пунктов [19–21].

Первая, наиболее полная по охвату всего населения птиц классификация видов по биотопическим комплексам на территории Беларуси предложена нами в работе по изучению фауны Чернобыльского региона [20]. В указанной работе выделено 6 биотопических комплексов: лесной, древесно-кустарниковый, сухих открытых пространств, околородно-болотный, прибрежно-водный, синантропный. Аналогичный подход использован и другими исследователями при изучении видового состава позвоночных животных на городских территориях в западноевропейских странах [3].

В данной работе при определении состава синантропного экологического комплекса позвоночных животных нами учитывались два основных качественных критерия: топический и репродуктивный. При этом мы не останавливаемся детально на экологических особенностях позвоночных животных, в том числе синантропных видов, вблизи сооружений человека, так как этому посвящена специальная работа, где более предметно обсуждены критерии выделения синантропного экологического комплекса [21].

В топическом отношении синантропные животные характеризуются тем, что они обитают главным образом в пределах (границах) селитебных экосистем. Последние формируются на территориях населенных пунктов, включая прилегающие полосы шириной 300 м, а также на круглогодично активных хозяйственных и иных объектах (фермах, насосных станциях, турбазах, хуторах) межселенных территорий, включая прилегающие полосы шириной 30 м. Специфику селитебных экосистем составляет наличие таких искусственных ландшафтных элементов, как застройка, дорожные покрытия и различные участки искусственно созданных или радикально преобразованных луговых, кустарниковых, древесных биотопов и водоемов. К искусственным водоемам кроме водохранилищ и прудов относятся также каналы и обводненные кюветы. Условно к ним же можно отнести небольшие озера, полностью расположенные в черте населенных пунктов.

Типичными примерами обитателей селитебных экосистем, исходя из топического критерия, могут быть лесной нетопырь, городская и деревенская ласточки, рыжая вечерница, снегирь обыкновенный, зяблик. В разное время годы эти животные встречались (нередко в значительном количестве) во всех исследованных нами населенных пунктах. Однако использование только одного данного критерия позволяет отнести к синантропным видам и многие другие виды фауны. Принципиальная разница заключается в том, что особи первых трех видов из приведенных выше устраивают выводковые или гнездовые колонии почти исключительно в селитебных экосистемах, а последние три вида, наоборот, – в иных экосистемах (в данном случае – лесных). Поэтому репродуктивный критерий нами принимается как второй по значимости при выделении синантропного комплекса видов. В случае сохраняющейся неопределенности упомянутых двух критериев можно учитывать и дополнительные критерии, такие как трофический и гибриционный (зимовальный). Однако для большей достоверности отнесения видов животных к синантропной группе, особенно в «спорных» случаях, целесообразно использовать количественные критерии. В качестве основного количественного критерия нами принята относительная численность размножающихся пар или группировок конкретного вида животных на сходных по протяженности маршрутах в селитебных и естественных местообитаниях.

По данному критерию достаточно достоверно можно проследить, насколько тот или иной вид отличается степенью синантропизации в конкретном регионе или за конкретный период.

Местообитания позвоночных животных условно делятся на экотопы (станции) [22]. Для того чтобы биотопически структурировать состав населения позвоночных животных селитебных экосистем, нами выделено пять категорий репродукционных станций, где размещаются гнезда, кладки, выводковые убежища, а также места обитания особей с рождения до начала самостоятельного образа жизни молодняка.

1. Технические станции – разнообразные сооружения и строения человека, включая постоянные и случайные покрытия, штабеля, отходы и т. п.

2. Агро-селитебные станции – огороды, газоны, пастбища, залежи, карьеры, куртины и участки лугов разных типов в черте застройки, кроме прибрежной полосы.

3. Кустарниково-селитебные станции – комплексы (ягодники, питомники, живые изгороди, кустарниковые куртины) и отдельные экземпляры плодовых, декоративных и естественно произрастающих пород кустарников.

4. Древесно-селитебные станции – комплексы (сады, аллеи, скверы, парки, группы) и отдельные экземпляры деревьев плодовых, декоративных и лесных пород.

5. Прибрежно-селитебные станции – акватория, прибрежная луговая полоса искусственных водоемов и технически преобразованные зоны естественных водотоков (акватория водовыпусков, водосбросов, в полосах отмопок, набережных и т. п.).

В естественных местообитаниях аналогами являлись сходные природные территории без антропогенно обусловленных элементов среды (сооружений, построек, участков с трансформированным покровом и т. д.).

Результаты исследований распределения видов позвоночных животных, относительная численность которых в селитебных местообитаниях оказалась выше, чем в естественных, представлены в табл. 1. Именно эти виды, отнесенные нами к синантропным, в совокупности составляют синантропный экологический комплекс наземных позвоночных животных.

В табл. 1, где обобщены результаты данных четырехлетних полевых учетов в сезоны размножения (март–август), большинство видов являются фоновыми для селитебного ландшафта исследованной территории, так как они выявлены во всех исследованных населенных пунктах. При этом их относительная численность в селитебных биотопах всегда была выше, чем в естественных. Кроме того, данная таблица включает 19 видов животных (камышовая жаба, гребенчатый тритон, фазан, сипуха, сирийский дятел, полевой конек, черноголовый чекан, садовая камышовка, короткопалая пищуха, малая и белобрюхая белозубки, ночницы (прудовая, реснитчатая, усатая, Брандта), серый ушан, европейская широкоушка, средиземноморский нетопырь, северный кожанок), которые в силу зоогеографических особенностей, по причине большой редкости или слабой изученности выявлены только на 1–6 стационарах. Находки особей этих 19 видов, как показано в таблице, приурочены главным образом к селитебным биотопам.

В целом на территории 12 стационаров относительная численность размножающихся особей синантропных видов в репродуктивный период для селитебных биотопов составляла от 67 % (лесной хорь) до 100 % от общей учтенной численности (табл. 1). Максимальной степенью синантропности отличались региональные размножающиеся группировки 28 видов птиц (белый аист, лебедь-шипун, фазан, сизый голубь, кольчатая горлица и др.) и 18 видов млекопитающих (белобрюхая белозубка, реснитчатая ночница, поздний кожан и др.), которые обнаружены нами исключительно в пределах селитебных местообитаний (табл. 1).

Таким образом, на основании анализа биотопической приуроченности и относительной численности выделена специфичная для селитебных экосистем группа видов – синантропный экологический комплекс. Соответственно, к синантропным относятся виды, относительная численность которых в репродуктивный период или количество их группировок (колоний) в станциях селитебных экосистем достоверно выше, чем в аналогичных станциях естественных экосистем.

Т а б л и ц а 1. Видовой состав и численность синантропных видов позвоночных животных в селитебных и сопредельных биотопах на учетных маршрутах 12 стационарных участков в Белорусском Полесье в репродуктивные периоды 2010–2013 гг.

Table 1. Composition and number of synanthropic species of vertebrate animals in the residential and adjacent biotopes on registration routes of 12 research places in Belarusian Polesie during the reproductive periods of 2010–2013 years

Регистрируемый параметр вида животных	Тип репродукционных стаций*	Численность на постоянных учетных маршрутах				
		Σn	Селитебные биотопы		Естественные биотопы	
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Зеленая жаба <i>Bufo viridis</i> (95 %):						
к-во особей		715	680	95	35	5
к-во нерестовых группировок		71	59	83	12	17
Камышовая жаба <i>Bufo calamita</i> (99 %):						
к-во особей		294	290	99	4	1
к-во вокализирующих самцов	5	141	129	91	12	9
к-во нерестовых группировок		16	11	69	5	31
Гребенчатый тритон <i>Triturus cristatus</i> (82 %):						
к-во особей	5	68	56	82	12	18
к-во нерестовых группировок		14	5	36	9	64
Белый аист <i>Ciconia ciconia</i> (100 %):						
к-во особей	1; 4	161	83	51	78	49
к-во гнезд		36	36	100	–	–
Фазан <i>Phasianus colchicus</i> (95 %):						
к-во выводков		8	8;	100	–	–
к-во особей	2; 5	60	57;	95	3	–
к-во вокализирующих самцов		17	17	100	–	–
Сизый голубь <i>Columba livia</i> (99 %):						
к-во особей	1	3542	3500	99	42	1
к-во стай		120	120	100	–	–
Кольчатая горлица <i>Streptopelia decaocto</i> (100 %):						
к-во особей	1; 4	87	87	100	–	–
к-во гнезд		24	24	100	–	–
Сипуха <i>Tyto alba</i> :						
к-во особей	1	2	2	100	–	–
Домовый сыч <i>Athene noctua</i> :						
к-во особей	1	9	9	100	–	–
к-во гнезд		1	1	100	–	–
Чёрный стриж <i>Apus apus</i> :						
к-во гнездовых группировок	1; 4	16	16	100	–	–
Удод <i>Upupa epops</i> :						
к-во особей	1; 4	36	31	86	5	15
к-во гнезд		4	4	100	–	–
Зеленый дятел <i>Picus viridis</i> :						
к-во вокализирующих особей	4	14	14	100	–	–
к-во дупел		3	3	100	–	–
Сирийский дятел <i>Dendrocopos syriacus</i> :						
к-во вокализирующих особей	4	82	82	100	–	–
к-во дупел		31	31	100	–	–
Хохлатый жаворонок <i>Galerida cristata</i> :						
к-во вокализирующих особей	2	30	29	97	1	3
к-во выводков		14	14	100	–	–
Деревенская ласточка <i>Hirundo rustica</i> :						
к-во гнезд	1	186	186	100	–	–
Воронок <i>Delichon urbica</i> :						
к-во гнезд	1	370	370	100	–	–
Полевой конек <i>Anthus campestris</i> :						
к-во выводков	2	18	18	100	–	–
Белая трясогузка <i>Motacilla alba</i> :						
к-во гнездящихся пар	1	47	47	100	–	–

Продолжение табл. 1

Регистрируемый параметр вида животных	Тип репродукционных стадий*	Численность на постоянных учетных маршрутах				
		Σn	Селитебные биотопы		Естественные биотопы	
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Горихвостка-чернушка <i>Phoenicurus ochruros</i> : к-во вокализирующих самцов к-во гнезд	1	92 23	92 23	100 100	–	
Обыкновенная горихвостка <i>Phoenicurus phoenicurus</i> : к-во вокализирующих самцов к-во гнезд	1; 4	39 16	32 16	82 100	7	18
Черноголовый чекан <i>Saxicola torquata</i> : к-во вокализирующих самцов	5	14	14	100	–	
Обыкновенная каменка <i>Oenanthe oenanthe</i> : к-во особей к-во выводков	1; 4	27 12	27 12	100 100	–	–
Рябинник <i>Turdus pilaris</i> : к-во гнездящихся пар	4	41	41	100	–	
Садовая камышевка <i>Acrocephalus dumetorum</i> : к-во гнездящихся пар	3	3	3	100	–	
Зеленая пересмешка <i>Hippolais icterina</i> : к-во вокализирующих самцов	4	184	180	98	4	2
Славка-завирушка <i>Sylvia curruca</i> : к-во вокализирующих самцов	3	20	19	95	1	5
Серая мухоловка <i>Muscicapa striata</i> : к-во гнездящихся пар	4	17	17	100	–	
Короткопалая пищуха <i>Certhia brachydactyla</i> : к-во особей	4	1	1	100	–	
Галка <i>Corvus monedula</i> : к-во гнездящихся пар	1; 4	113	113	100	–	
Грач <i>Corvus frugilegus</i> : к-во гнездящихся пар	4	579	579	100	–	
Обыкновенный скворец <i>Sturnus vulgaris</i> : к-во гнезд	1; 4	182	175	96	7	4
Просьянка <i>Miliaria calandra</i> : к-во особей	2	40	26	65	14	35
Полевой воробей <i>Passer montanus</i> : к-во особей к-во гнезд	1; 4	1957 122	1925 122	98 100	32	2
Домовой воробей <i>Passer domesticus</i> : к-во особей к-во гнезд	1	1289 97	1289 97	100 100	–	–
Европейский вьюрок <i>Serinus serinus</i> : к-во вокализирующих самцов к-во гнезд	4	34 8	32 8	94 100	2	6
Обыкновенная зеленушка <i>Carduelis chloris</i> : к-во вокализирующих самцов к-во гнезд	4	60 19	56 19	93 100	4	7
Щегол <i>Carduelis carduelis</i> : к-во вокализирующих самцов к-во гнезд	4	83 32	80 30	96 95	3 2	4 5
Коноплянка <i>Carduelis cannabina</i> : к-во вокализирующих самцов к-во гнезд	3	19 31	19 31	100 100	–	
Белогрудый еж <i>Erinaceus concolor</i> : к-во особей	1; 2	60	53	88	7	12
Малая белозубка <i>Crocidura suaveolens</i> : к-во поимок	1; 2; 5	1	1	100	–	
Белобрюхая белозубка <i>Crocidura leucodon</i> : к-во поимок	1; 2; 5	14	14	100	–	

Окончание табл. 1

Регистрируемый параметр вида животных	Тип репродукционных стадий*	Численность на постоянных учетных маршрутах				
		Σn	Селитебные биотопы		Естественные биотопы	
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Водяная ночница <i>Myotis daubentonii</i> :	1; 4	691	655	95	36	5
к-во особей		24	24	100	–	
к-во колоний						
Прудовая ночница <i>Myotis dasycneme</i> :	1	3	3	100	–	
к-во особей		–	–			
к-во колоний						
Реснитчатая ночница <i>Myotis nattereri</i> :	1; 4	6	6	100	–	
к-во особей		1	1	100	–	
к-во колоний						
Усатая ночница <i>Myotis mystacinus</i> :	1	35	35	100	–	
к-во особей		6	6	100	–	
к-во колоний						
Ночница Брандта <i>Myotis brandtii</i> :	1	32	32	100		
к-во особей		7	7	100		
к-во колоний						
Серый ушан <i>Plecotus austriacus</i> :	1	39	37	95	2	5
к-во особей		2	2	100	–	
к-во колоний						
Европейская широкоушка <i>Barbastella barbastellus</i> :	1	4	4	100		
к-во особей		7	7	100		
к-во колоний, включая зимние						
Нетопырь-карлик <i>Pipistrellus pipistrellus</i> :	1	993	985	99	8	1
к-во особей		30	29	99	1	1
к-во колоний						
Нетопырь пигмей <i>Pipistrellus pygmaeus</i> :	1	457	457	100	–	
к-во особей		27	27	100	–	
к-во колоний						
Лесной нетопырь <i>Pipistrellus nathusii</i> :	1	323	321	99	2	1
к-во особей		12	12	100	–	
к-во колоний						
Средиземноморский нетопырь <i>Pipistrellus kuhlii</i> :	1	1	1	100	–	
к-во колоний, включая зимние						
Северный кожанок <i>Eptesicus nilssonii</i> :	1	12	12	100	–	
к-во особей		1	1	100	–	
к-во колоний						
Поздний кожан <i>Eptesicus serotinus</i> :	1	486	486	100	–	
к-во особей		29	29	100	–	
к-во колоний						
Двухцветный кожан <i>Vespertilio murinus</i> :	1	395	395	100	–	
к-во особей		7	7	100	–	
к-во колоний						
Каменная куница <i>Martes foina</i> :	1	37	37	100	–	
к-во зарегистрированных особей		14	12	86	2	14
к-во поимок						
Лесной хорь <i>Mustela putorius</i> :	1	15	12	80	3	20
к-во зарегистрированных особей		6	4	67	2	33
к-во поимок						
Мышь домовая <i>Mus musculus</i> :	1	59	59	100	–	
к-во поимок						
Крыса серая <i>Rattus norvegicus</i> :	1	17	17	100	–	
к-во поимок						
Крыса черная <i>Rattus rattus</i> :	1	7	7	100	–	
к-во поимок						

*Типы репродукционных стадий: 1 – технические, 2 – агро-селитебные, 3 – кустарниково-селитебные, 4 – древесно-селитебные, 5 – прибрежно-селитебные.

Наряду с синантопными видами животных в населенных пунктах нередко встречаются в репродуктивный период и могут размножаться и те, численность которых обычно сравнительно выше в подходящих естественных местообитаниях. В наших исследованиях виды этой второй группы, для которых характерно образование регулярных синантропных группировок в пределах селитебных территорий, определены нами как спорадично-синантропные. К данной группе отнесен всего 101 вид наземных позвоночных – земноводных, пресмыкающихся, птиц, млекопитающих, более подробный анализ состава которых будет приведен нами в последующей работе. При этом спорадично-синантропными видами мы называем позвоночных животных, обитание которых в репродуктивный период установлено не менее чем в 75 % обследованных населенных пунктах, где имеются соответствующие станции для конкретных видов животных. Во всех исследованных населенных пунктах и их окрестностях относительная численность репродуктивной группировки видов этой группы составляла менее 50 % от общей учтенной численности на всей совокупной территории учета, включающей естественные местообитания.

Наконец, третью группу видов, обнаруживаемых в населенных пунктах, но не соответствующих в репродуктивный период критериям для отнесения к первым двум группам, мы относим к случайным обитателям селитебного ландшафта, т. е. к эвритопно-синантропным видам, для которых в условиях населенных пунктов характерно только спорадичное размножение.

Таким образом, по отношению к селитебным экосистемам и в контексте синантропизации позвоночных животных Белорусского Полесья предлагается выделять три группы видов: синантропные, спорадично-синантропные и эвритопно-синантропные. При этом очевидно, что в плане дифференциации на экологические комплексы только группа собственно синантропных видов образует синантропный экологический комплекс, тогда как виды двух других указанных групп входят в иные экологические комплексы (лесной, древесно-кустарниковый, околородно-болотный и т. д. [13]) в соответствии с количественными показателями биотопической приуроченности их популяций. При этом виды разных комплексов, обитающие на селитебных территориях, все вместе образуют синантропное население позвоночных животных конкретного населенного пункта.

Распределение по репродукционным станциям различных таксономических групп синантропных и спорадично-синантропных видов, образующих регулярные репродукционные группировки ($n = 161$) в селитебных экосистемах Белорусского Полесья, приведено в табл. 2. Представители обеих групп локализируются в стадии размножения чаще всего в 1–2 категориях репродукционных станций. Некоторые из них (белозубки, полевая и европейская мыши, полевки водяная и обыкновенная, дрозды черный и певчий) в селитебных экосистемах могут размножаться в трех типах репродукционных станций. Желтогорлая мышь способна размножаться в четырех, а кукушка обыкновенная – в пяти типах репродукционных станций. Несколько меньшим числом видов отличаются прибрежно-селитебные и древесно-селитебные станции – по 53 и 51 виду соответственно (табл. 2). Наибольшее стациальное разнообразие характерно для млекопитающих, относящихся к спорадично-синантропным видам. Литературные данные по биологии позвоночных животных Беларуси и сопредельных регионов [2, 4, 6, 8–15, 20] в целом подтверждают отраженную в табл. 2 стациальную структуру населения позвоночных селитебных территорий.

Анализ публикаций и полученных в ходе полевых исследований данных показывает, что для позвоночных синантропного комплекса не выявлено более или менее заметного освоения естественных местообитаний, по крайней мере в течение последних десятилетий. Напротив, больше известны факты внедрения нативных видов из естественных в селитебные экосистемы (например, появление «городских популяций» рыжей вечерницы, кряквы, лисухи, вяхиря, сойки, ушастой совы и некоторых других видов, которые в прошлом размножались только в естественных местообитаниях).

За последние 50 лет в фауне Беларуси и Полесья синантропный биотопический комплекс позвоночных животных заметно увеличился, в том числе за счет появления 8 новых видов (табл. 3), что обусловлено расширением и развитием селитебного ландшафта.

Таблица 2. Количество синантропных (А) и спорадично-синантропных (В) видов позвоночных животных, локализирующихся в различных репродукционных станциях селитебного ландшафта Белорусского Полесья в 2005–2013 гг.

Table 2. Quantity of synanthropic (A) and sporadically-synanthropic (B) species of the vertebrate animals who are localized in different reproductive stations of residential landscape of the Belarusian Polesie in 2005–2013 years

Репродукционные станции	К-во видов позвоночных животных								Σn
	Земноводные		Пресмыкающиеся		Птицы		Млекопитающие		
	А (n = 3)	В (n = 9)	А	В (n = 3)	А (n = 35)	В (n = 69)	А (n = 22)	В (n = 20)	
Технические	–	2	–	3	17	13	22	10	67
Агроселитебные	–	–	–	2	3	20	3	9	37
Кустарниково-селитебные	–	–	–	–	3	10	–	2	15
Древесно-селитебные	–	–	–	–	18	24	2	7	51
Прибрежно-селитебные	3	9	–	1	3	25	2	10	53
Все станции	3	11	–	6	44	92	29	38	

Примечание. n – число зарегистрированных регулярных репродукционных группировок.

Таблица 3. Новые синантропные виды позвоночных животных Белорусского Полесья в 1950–2016 гг.

Table 3. New synanthropic species of vertebrate animals of Belarusian Polesie in 1950–2016

Вид позвоночных животных	Период появления синантропного вида. Причина
Фазан <i>Phasianus colchicus</i>	1970-е годы. Акклиматизация
Кольчатая горлица <i>Streptopelia decaocto</i>	1960-е годы. Расширение ареала вида
Сирийский дятел <i>Dendrocopos syriacus</i>	1990-е годы. Расширение ареала вида
Горихвостка-чернушка <i>Phoenicurus ochruros</i>	1950-е годы. Расширение ареала вида
Черноголовый чекан <i>Saxicola rubicola</i>	2000-е годы. Расширение ареала вида
Европейский вьюрок <i>Serinus serinus</i>	1960-е годы. Расширение ареала вида
Серый ушан <i>Plecotus austriacus</i>	1990-е годы. Расширение ареала вида
Средиземноморский нетопырь <i>Pipistrellus kuhlii</i>	2000-е годы. Расширение ареала вида

Заключение. Для выделения синантропного биотопического комплекса позвоночных животных использованы топический и репродуктивный качественные критерии, а также количественный критерий – оценка относительной численности вида в селитебных (населенные пункты) и сопредельных естественных биотопах. По отношению к селитебным экосистемам и в контексте оценки степени синантропности в Белорусском Полесье выделены три группы видов позвоночных животных: синантропные, спорадично-синантропные, эвритопно-синантропные.

Синантропные виды образуют синантропный экологический комплекс позвоночных Белорусского Полесья, а вместе со спорадично-синантропными и эвритопно-синантропными они составляют синантропное население селитебных местообитаний.

В современных условиях региона Белорусского Полесья обитает 60 синантропных видов наземных позвоночных животных, в том числе 3 вида земноводных, 35 видов птиц, 22 вида млекопитающих. К спорадично-синантропным видам отнесен 101 вид позвоночных.

Репродукционные станции синантропного биотопического комплекса позвоночных животных представлены пятью категориями: техническими, агро-селитебными, кустарниково-селитебными, древесно-селитебными, прибрежно-селитебными. Для обитания видов позвоночных синантропного комплекса наиболее подходящими оказываются технические станции, где в разнообразных сооружениях человека размножаются 67 видов позвоночных животных.

Появление после 1950 г. в фауне Полесья 8 новых синантропных видов птиц и млекопитающих обусловлено расширением ареалов и акклиматизацией.

Список использованных источников

1. Мониторинг животного мира Беларуси (основные принципы и результаты) / Сушеня Л. М. и др. ; под общ. ред. Л. М. Сушеня, В. П. Семенченко ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т зоологии. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2005. – 223 с.
2. Сержанин, И. Н. Млекопитающие Беларуси / И. Н. Сержанин ; Акад. наук Беларус. ССР, Отд. зоологии и паразитологии. – Минск : Изд-во АН БССР, 1961. – 320 с.

3. Клауснитцер, Б. Экология городской фауны / пер. с нем. И. В. Орловой, И. М. Маровой ; [предисл. Д. А. Криволуцкого]. – М. : Мир, 1990. – 246 с.
4. Долбик, М. С. Ландшафтная структура орнитофауны Белоруссии / М. С. Долбик ; науч. ред. А. Х. Шкляр ; Акад. наук Белорус. ССР, Отд. зоологии. – Минск : Наука и техника, 1974. – 312 с.
5. Природная среда Беларуси : монография / М. И. Струк и др. ; под ред. В. Ф. Логинова ; Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии. – Минск : НОООО “БИП-С”, 2002. – 424 с.
6. Демянчик, В. Т. Рукокрылые Беларуси : справ.-определитель / В. Т. Демянчик, М. Г. Демянчик. – Брест : Изд-во С. Лаврова, 2000. – 216 с.
7. Энцыклапедыя прыроды Беларусі : у 5 т. Т. 5. Стаўраструм – Яшчур / рэдкал. : І. П. Шамякін (гал. рэд.) [і інш.]. – Минск : БелСЭ, 1986. – 583 с.
8. Звери : попул. энцикл. справ. / А. Н. Буневич [и др.] ; под ред. П. Г. Козло, под общ. ред. Суцzeni Л. М. ; Белорус. энцикл., Ин-т зоологии Нац. акад. наук Беларуси. – Минск : БелЭн, 2003. – 438 с.
9. Бурко, Л. Д. Позвоночные животные Беларуси : учеб. пособие для студентов биол. фак. специальностей 1-31 01 01 “Биология” и 1-33 01 01 “Биоэкология” / Л. Д. Бурко, В. В. Гричик. – Минск : БГУ, 2005. – 391 с.
10. Шнитников, В. Н. Птицы Минской губернии / В. Н. Шнитников. – М. : Типолитография т-ва И. Н. Кушнеров и К°, 1913. – 475 с.
11. Никифоров, М. Е. Птицы Белоруссии : справочник-определитель гнезд и яиц / М. Е. Никифоров, Б. В. Яминский, Л. П. Шкляр. – Минск : Выш. шк., 1989. – 479 с.
12. Федюшин, А. В. Птицы Белоруссии / А. В. Федюшин, М. С. Долбик ; редактор И. Н. Сержанин ; Акад. наук Белорусской ССР, Отдел зоологии и паразитологии. – Минск : Наука и техника, 1967. – 520 с.
13. Птицы Беларуси на рубеже XXI века : статус, численность, распространение / М. Е. Никифоров, А. В. Козулин, В. В. Гричик, А. К. Тишечкин ; науч. ред. М. М. Пикулик ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т зоологии. – Минск : изд-ль Н. А. Королев, 1997. – 188 с.
14. Воронин, Ф. Н. Фауна Белоруссии и охрана природы (Позвоночные) : пособие по одному курсу для естеств. фак. вузов / Ф. Н. Воронин. – Минск : Выш. шк., 1967. – 424 с.
15. Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко ; под общ. ред. Б. П. Савицкого. – Минск : Белорус. гос. ун-т, 2005. – 320 с.
16. Atlas ptaków lęgowych Lubelszczyzny / Ja. Wójcik [i in.]. – Lublin : Lubelskie towarzystwo ornitologiczne, 2005. – 511 s.
17. Корбут, В. В. Урбанизация и птицы города / В. В. Корбут. – М. : Экополис, 2000. – 160 с.
18. Hedblom, M. Landscape effects on birds in urban woodlands: an analysis of 34 Swedish cities / M. Hedblom, B. Soderstrom // J. Biogeogr. – 2010. – Vol. 37, N 7. – P. 1302–1316.
19. Graczyk, R. Ecological and ethological aspects of synantropization of birds / R. Graczyk // Mem. zool. – 1982. – Vol. 37. – P. 79–91.
20. Животный мир в зоне аварии Чернобыльской АЭС / под общ. ред. Л. М. Суцzeni, М. М. Пикулика, А. Е. Пленина; Акад. наук Беларуси, Ин-т зоологии. – Минск : Наука и техника, 1995. – 263 с.
21. Демянчик, В. Т. Дикie животные в сооружениях человека / В. Т. Демянчик, В. В. Демянчик ; Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. – Брест : Альтернатива, 2008. – 219 с.
22. Реймерс, Н. Ф. Природопользование : словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990. – 637 с.

References

1. Sushchenia L. M., Sushchenia L. M., Semenchenko V. P., Vezhnovets V. V., Giginiak Iu. G., Razlutski V. I., Pliuta M. V., Ermorlaev V. V., Khot'ko E. I., Tereshkina N. V., Bychkova E. I., Labetskaia A. G., Drobenkov S. M., Novitskii R. V., Ryzhevich K. K., Nikiforov M. E., Pavliushchik T. E., Bogutskii Iu. V., Uglianets A. V., Dmitrenok M. G., Natykanets V. V., Mongin E. A., Karlionova N. V., Pinchuk P. V., Dombrovskii V. Ch., Kozulin A. V., Vergeichik L. A., Zhuravlev D. V., Samusenko I. E., Sidorovich V. E., Solovei I. A., Pikulik M. M., Lauzhel' G. O., Kozlo P. G. Monitoring of fauna of Belarus (the basic principles and results), in Sushchenia L. M., Semenchenko V. P. (ed.), *Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Institut zoologii* [National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Zoology]. Minsk, Belorusskii nauchno-issledovatel'skii tsentr “Ekologiya” [Belarusian Research Center “Ecology”], 2005. 220 p. (in Russian).
2. Serzhanin I. N. Mammals of Belarus, *Akademiia nauk Belorusskoi SSR, Otdel zoologii i parazitologii* [Academy of Sciences of the Byelorussian SSR, Department of Zoology and Parasitology]. Minsk, Izdatel'stvo Akademii nauk BSSR [Publishing House of the Academy of Sciences of the BSSR], 1961. 320 p. (in Russian).
3. Klausnitzer B. *Okologie der Grobstadt fauna*. Jena, 1987. (Russ. ed.: Klausnitzer B. *Ecology of city fauna*, translation from German I. V. Orlova, I. M. Marovoi, D. A. Krivolutsky's preface. Moscow, World, 1990. 246 p. (in Russian).
4. Dolbik M. S., Loginov V. F., Kadatskaia O. V., Nekrasova L. A., Grinevich A. G., Kudel'skii A. V., Bykova N. K., Gudak S. P., Prokopenia V. A., Gapienko O. S. Landscape structure of avifauna of Belarus, in Shklier A. Kh. (ed.), *Akademiia nauk Belorusskoi SSR, Otdel zoologii* [Academy of Sciences of the Byelorussian SSR, Department of Zoology]. Minsk, Nauka i tekhnika [Science and equipment], 1974. 309 p. (in Russian).
5. Struk M. I., Environment of Belarus, in Loginov V. F. (ed.), *Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Institut problem ispol'zovaniia prirodnykh resursov i ekologii* [National Academy of Sciences of Belarus, Institute for Problems of the Use of Natural Resources and Ecology]. Minsk, NOOOO “BIP-S”, 2002. 424 p. (in Russian).
6. Demyanchik V. T., Demyanchik M. G. *Bats of Belarus : Reference book determinant*. Brest, Izdatel'stvo S. Lavrova [S. Lavrov's publ. house], 2000. 216 p. (in Russian).

7. Encyclopedia of nature of Belarus. Vol. 5. Stavrastrum – Foot and mouth disease, in Shamyakin I. (ed., et al.). Minsk, Belaruskaja saveckaja jencyklapedyja [Byelorussian Soviet Encyclopedia], 1986. 583 p. (in Russian).
8. Bunevich A. N., Burko L. D., Vadkovskii V. B., Gaiduk V. E., Golubev A. P., Demianchik V. T., Demianchik M. G., Dis'ko N. A., Dorofeev A. M., Dunin V. F. Animals: popular. reference book, in Kozlo P. G., Sushchenia L. M. (ed.), elorusaskaia entsyklopediia, Institut zoologii Natsional'noi akademii nauk Belarusi [Belarusian entsyklopediya, Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Belarus]. Minsk, Belaruskaja jencyklapedyja [Belarussian Encyclopedia], 2003. 438 p. (in Russian).
9. Burko L. D., Grichik V. V. Vertebrate animals of Belarus. Minsk, Belorusskii gosudarstvennyi universitet [Belarusian State University], 2005. 391 p. (in Russian).
10. Shnitnikov V. N. Birds of Minsk province. Moscow, Tipolitografii t-va I. N. Kushnerov i K^o [Lithographic t-va I. N. Kushnerov and C^o], 1913. 475 p. (in Russian).
11. Nikiforov M. E., Iaminskii B. V., Shkliarov L. P. Birds of Belarus. Reference guide of nests and eggs. Minsk, Vyshhejskaja shkola [The Higher School], 1989. 479 p. (in Russian).
12. Fediushin A. V., Dolbik M. S. Birds of Belarus, in Serzhanin I. N. (ed.), Akademiia nauk Belorusskoi SSR, Otdel zoologii i parazitologii [Academy of Sciences of the Byelorussian SSR, Department of Zoology and Parasitology]. Minsk, Nauka i tekhnika [Science and Technology], 1967. 520 p. (in Russian).
13. Nikiforov M. E., Kozulin A. V., Grichik V. V., Tishechkin A. K. Birds of Belarus at the turn of the XXI century. Status, numbers, distribution, in Pikulik M. M. (ed.), Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Institut zoologii [National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Zoology]. Minsk, izdatel' N. A. Korolev [publ. of N. A. Korolev], 1997. 188 p. (in Russian).
14. Voronin F. N. Fauna of Belarus and nature protection (Vertebrates). Minsk, Vyshhejskaja shkola [Higher School], 1967. 424 p. (in Russian).
15. Savitskii B. P., Kuchmel' S. V., Burko L. D. Mammals of Belarus, in Savitskii B. P. (ed.). Minsk, Belorusskii gosudarstvennyi universitet [Belarusian State University], 2005. 320 p. (in Russian).
16. Wójcik J. Atlas of nesting birds of the passerines of Lubelshchyna. Lublin, Lublin ornithological community, 2005. 511 p. (in Polish).
17. Korbut V. V. Urbanization and birds of the city. Moscow, Ekopolis [Ecopolis], 2000. 160 p. (in Russian).
18. Hedblom M. Landscape effects on birds in urban woodlands: an analysis of 34 Swedish cities. *Journal of Biogeography*, 2010, vol. 37, no. 7, pp. 1302–1316. doi: 10.1111/j.1365-2699.2010.02299.x
19. Graczyk R. Ecological and ethological aspects of synantropization of birds. *Mem. zool.*, 1982, vol. 37. pp. 79–91.
20. Fauna in zone of accident of the Chernobyl NPP, in Sushchenia L. M., Pikulik M. M., Plenin A. E. (ed.), Akademiia nauk Belarusi, Institut zoologii [Academy of Sciences, Institute of Zoology]. Minsk, Nauka i tekhnika [Science and equipment], 1995. 263 p. (in Russian).
21. Demianchik V. T., Demianchik V. V. Wild animals in constructions of people, Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, et al. [The National Academy of Sciences of Belarus, et al.]. Brest, Al'ternativa [Alternative], 2008. 204 p. (in Russian).
22. Reimers N. F. Environmental management: dictionary reference. Moscow, Mysl' [Thought], 1990. 637 p. (in Russian).

Информация об авторах

Демянчик Виктор Викторович – мл. науч. сотрудник. Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси (ул. Московская, 204/1-1, 224021, г. Брест, Республика Беларусь). E-mail: koktebel.by@mail.ru.

Никифоров Михаил Ефимович – академик, д-р биол. наук, академик-секретарь Отделения биол. наук НАН Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nikif@tut.by.

Information about the authors

Victor V. Demianchik – Junior researcher. Polesie Agrarian-ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moscovskaya Str., 224021, Brest, Republic of Belarus). E-mail: koktebel.by@mail.ru.

Michail E. Nikiforov – Academician, D. Sc. (Biol.), Academician-Secretary. Department of Biological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Av., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nikif@tut.by.

Для цитирования

Демянчик, В. В. Синантропный экологический комплекс и структура населения позвоночных на селитебных территориях Белорусского Полесья / В. В. Демянчик, М. Е. Никифоров // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 7–17.

For citation

Demianchik V. V., Nikiforov M. E. Synanthropic ecological complex and structure of the population of vertebrate animals of residential territories of Belarusian Polesie. *Vesti Natsyyanal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 7–17.

Н. Б. Павловский

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОРТОВ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В БЕЛАРУСИ

На основании результатов многолетних стационарных наблюдений приведено описание общего строения надземной части растения голубики высокорослой. Показаны особенности архитектоники генеративных растений 20 сортов голубики высокорослой и 3 сортов голубики полувысокорослой, интродуцированных в Беларусь. В зависимости от сорта 20-летние растения голубики высокорослой в условиях Беларуси достигают высоты 1,4–2,1 м, а голубики полувысокорослой – 1,3–1,7 м. Высота растений большинства сортов голубики высокорослой и полувысокорослой в пункте интродукции незначительно превышает таковую в условиях их родины, что свидетельствует об успешной реализации одного из показателей адаптационного потенциала в условиях Беларуси.

Ключевые слова: голубика высокорослая, *Vaccinium corymbosum*, интродукция, морфология, сортовые особенности, биоморфа, жизненная форма, габитус, Беларусь.

N. B. Pavlovskiy

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

MORPHOBIOLOGICAL PARTICULARITIES OF THE PLANTS OF HIGHBUSH BLUEBERRY CULTIVARS INTRODUCED IN BELARUS

Article describes the general structure of the aerial part of the plant highbush blueberry based on the results of long-term stationary observations. It shows the features of architectonic generative plant of 20 highbush blueberry cultivars and 3 cultivars of half-highbush blueberry, introduced in Belarus. 20-year-old plants of highbush blueberry reach a height of 1.4–2.1 m, and half-highbush blueberry – 1.3–1.7 m depending on the type in case of Belarus. Plant height of most cultivars of highbush blueberry and half-highbush under item introductions slightly higher than that in the conditions of their homeland, which testifies to the successful implementation of one of the indicators of adaptive capacity in the case of Belarus.

Keywords: highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum*, introduction, morphology, varietal characteristics, life form, habit, Belarus.

Введение. Голубика высокорослая (*Vaccinium × covellianum* = *V. corymbosum*) – ягодная культура, созданная методом гибридизации нескольких североамериканских видов голубик (*V. corymbosum*, *V. angustifolium*, *V. darrowii*, *V. virgatum* и др.) [1]. В настоящее время насчитывается более 360 сортов этой культуры, которые, в зависимости от высоты растения, морозостойкости, потребности в холодной обработке и функционального назначения, классифицированы на следующие группы: 1) северная высокорослая голубика (northern highbush blueberry); 2) полувысокорослая голубика (half-highbush blueberry); 3) южная высокорослая голубика (southern highbush blueberry); 4) прутьевидная голубика (rabbiteye blueberry); 5) низкорослая голубика (lowbush blueberry); 6) декоративная голубика (ornamental blueberry) [1, 2]. Интродукционные испытания и практический опыт культивирования разных сортов голубики в Беларуси показали, что для природно-климатических условий республики представляют интерес сорта трех групп: северной высокорослой, полувысокорослой и низкорослой голубики [3].

При оценке адаптационного потенциала интродуцируемых растений одной из важнейших задач является определение степени влияния экологических условий нового района на их внешний вид – биоморфу. На основании сравнительного анализа параметров надземной части растений, перемещенных в новый район, с показателями растений на их родине можно определить, какие из исследуемых таксонов более, а какие менее устойчивы к воздействиям экзогенных факторов пункта интродукции. Этот показатель является морфологическим проявлением адаптации

растения к воздействию новых почвенно-климатических условий. При этом приспособление таксона к воздействию экзогенных факторов района интродукции осуществляется в генетически детерминированных диапазонах варьирования морфологических признаков.

Анализ литературных источников, касающихся внешнего облика растений голубики высокорослой, показал, что многие зарубежные авторы дают лишь краткие сведения о сортовых особенностях габитуса данной культуры [4–7]. Некоторые исследователи приводят морфометрические данные растений ряда сортов голубики высокорослой и полувысокорослой при интродукции в Литве [8], Латвии [9], России [10, 11], но при этом не указывают их возраст, поэтому использование этих сведений для сравнительной оценки некорректно.

Мониторинг биометрических параметров 10-летних растений 14 сортов голубики высокорослой и 2 сортов полувысокорослой, проходящих интродукционные испытания в лаборатории интродукции и технологии ягодных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси (ЦБС НАН Беларуси), проведен нами ранее [12]. Описание сортовых особенностей габитуса растений этих же таксонов голубики в 17-летнем возрасте выполнено Т. В. Курлович [13].

Цель настоящей работы – охарактеризовать жизненную форму голубики высокорослой и выполнить сравнительную оценку биоморфных параметров генеративных растений разных сортов этой культуры, интродуцированных в Беларуси.

Объекты и методы исследований. Сбор экспериментального материала выполняли в течение 1999–2016 гг. в коллекционных насаждениях лаборатории интродукции и технологии ягодных растений ЦБС НАН Беларуси, расположенной в Ганцевичском районе Брестской области (N 52°74', E 26°38'). Объектом исследований являлась надземная часть растений 20 сортов голубики высокорослой (Bluecrop, Blueray, Bluerose, Bluetta, Carolinablue, Coville, Croatan, Darrow, Denise Blue, Duke, Earliblue, Elizabeth, Hardyblue, Herbert, Jersey, Nelson, Patriot, Reka, Rubel, Weymouth) и 3 сортов голубики полувысокорослой (Northblue, Northcountry и Northland).

Насаждения голубики созданы в 1998 г. 2-летними корнесобственными саженцами. Схема посадки растений – 2,0×1,5 м. Почва на участке минеральная с $pH_{(H_2O)}$ 4,5, подстилаемая рыхлым, разнозернистым песком. Приствольная полоса насаждений замульчирована древесными опилками слоем 10 см и шириной 1 м. Между рядами содержали под естественным задернением. Насаждения оборудовали системой орошения, которую использовали в бездождевые периоды. Ежегодно проводили санитарную обрезку растений, при которой удаляли отмершие, поврежденные и неудачно расположенные побеги.

Минеральные удобрения вносили в приствольную полосу в дозе 60 кг/га. Суперфосфат двойной и сульфат калия – однократно в апреле, сернокислый аммоний – в 3 приема: в апреле – 50 %, в мае – 30, в июне – 20 %.

Структуру жизненной формы растений голубики описывали с учетом методических указаний И. Г. Серебрякова [14]. Описание сортовых особенностей архитектоники кроны выполняли на основе терминологии, разработанной М. Т. Мазуренко [15]. Высоту растений и диаметр кроны в двух перпендикулярных направлениях измеряли ежегодно в конце вегетационного периода у 5 растений каждого сорта в трехкратной повторности [16]. Форму, структуру и плотность кроны оценивали визуально, согласно методическим рекомендациям [17, 18].

Статистическую обработку данных выполняли с применением пакета анализа данных программы Microsoft Excel на 95 %-ном уровне значимости.

Результаты и их обсуждение. Голубика высокорослая является древесным листопадным растением, относящимся к классу прямостоячих кустарников. Надземная часть генеративных растений голубики представлена совокупностью разновозрастных ветвей и, в зависимости от сорта, достигает высоты от 1,3 до 2,1 м (табл. 1). Генеративное растение голубики обычно состоит из 10–20 ветвей. Жизненный цикл отдельных ветвей составляет около 30 лет, долговечность растения в несколько раз больше. К. Smolarz [7] сообщает, что в Польше имеются плодоносящие насаждения голубики высокорослой старше 70 лет.

Основой куста голубики высокорослой являются несколько скелетных ветвей диаметром 30–40 мм, развивающихся на базе побегов формирования и относящихся к нулевому порядку ветвления независимо от возраста. Побеги формирования обладают свойством усиленного роста

Т а б л и ц а 1. Биометрические параметры генеративных (20-летних) растений голубики высокорослой
 T a b l e 1. Biometric parameters of generative (20-year) blueberry plants

Сорт	Высота растения, м	Диаметр кроны, м		Соотношение высота/диаметр
		в ряду	в междурядьях	
<i>Голубика высокорослая</i>				
Bluecrop (st)	1,9 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,3 ± 0,1
Blueray	1,9 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1*	1,4 ± 0,1
Bluerose	1,5 ± 0,1*	1,1 ± 0,1*	1,2 ± 0,1*	1,2 ± 0,0
Bluetta	1,7 ± 0,2	1,1 ± 0,1*	1,3 ± 0,1*	1,4 ± 0,2
Carolinablue	1,4 ± 0,1*	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1*	1,1 ± 0,0*
Coville	1,7 ± 0,2	1,6 ± 0,2*	1,6 ± 0,2	1,0 ± 0,1*
Croatan	1,4 ± 0,2*	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,2*	1,0 ± 0,1*
Darrow	1,5 ± 0,2*	1,3 ± 0,1	1,5 ± 0,2	1,1 ± 0,1*
Denise Blue	1,6 ± 0,1*	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,1 ± 0,1*
Duke	1,6 ± 0,1*	1,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,1 ± 0,1*
Earliblue	2,0 ± 0,2	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1
Elizabeth	1,7 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,1 ± 0,1*
Hardyblue	2,1 ± 0,1	1,5 ± 0,2*	1,7 ± 0,1	1,3 ± 0,1
Herbert	1,9 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,3 ± 0,1
Jersey	2,1 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,3 ± 0,0
Nelson	2,1 ± 0,1	1,4 ± 0,1	2,0 ± 0,1*	1,2 ± 0,1
Patriot	1,5 ± 0,1*	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,2*	1,1 ± 0,1*
Reka	1,5 ± 0,1*	1,1 ± 0,1*	1,2 ± 0,1*	1,3 ± 0,1
Rubel	2,0 ± 0,1	1,6 ± 0,4*	1,7 ± 0,1	1,2 ± 0,0
Weymouth	1,9 ± 0,1	1,5 ± 0,1*	1,6 ± 0,1	1,2 ± 0,0
HCP_{0,05}	0,24	0,18	0,24	0,17
<i>Голубика полувисокорослая</i>				
Northblue (st)	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,0 ± 0,1
Northcountry	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,0 ± 0,0
Northland	1,7 ± 0,1*	1,4 ± 0,1*	1,5 ± 0,1	1,2 ± 0,1*
HCP_{0,05}	0,13	0,12	0,12	0,13

П р и м е ч а н и е. * – статистически значимые различия.

вверх и обычно имеют длину 50–100 см и более, диаметр – 6–8 мм. Побеги этого типа возникают, как правило, из спящих почек у основания растения и на базальной части склонившихся к земле ветвей. На побегах формирования образуются побеги ветвления. Побеги ветвления, растущие у верхушки побегов формирования под острым углом и продолжающие направление его роста после отмирания терминальной почки на материнском побеге, называют побегами замещения. Побеги этого типа имеют длину 30–60 см, диаметр – 4–6 мм, выполняют в большей степени скелетные и ассимиляционные функции и в меньшей – генеративные. На верхушках побегов замещения может формироваться от 1 до 5 цветковых почек. Следует отметить, что побеги данного типа формируются и в других местах материнского стебля. Самыми многочисленными побегами ветвления являются плодоносящие побеги, которые растут почти под прямым углом на побегах замещения, ветвления и реже на побегах формирования. Их длина варьируется в зависимости от порядка ветвления и места образования на материнском стебле и составляет от 2 до 20 см, диаметр – от 1,0 до 2,5 мм. Данные побеги выполняют ассимиляционную и генеративную функции, так как их нижняя часть облиственная, а верхняя несет от 1 до 10 генеративных почек. Как правило, ближе к верхушке материнского побега формируются более мощные и долговечные побеги ветвления с большим числом цветковых почек. У основания материнского побега вырастают короткие побеги ветвления (2–6 см), которые несут 1–4 генеративные почки и образуют 1–2 листа или вообще не имеют листьев. Такие побеги после плодоношения отмирают. М. Т. Мазуренко [15] называет их эфемерными побегами или побегами обрастания. С увеличением порядка ветвления плодоносящих побегов уменьшаются их толщина и длина, снижается число листьев и их размеры, что в свою очередь приводит к уменьшению текущего прироста и размеров формирующихся плодов. Цикл роста плодоносящих побегов составляет 2–5 лет, за-

тем они отмирают полностью или частично остаются живыми, входят в состав скелетных осей. Как правило, продолжительность жизни более крупных побегов больше, чем мелких. Ветви голубики, имеющие 5–6 и более порядков ветвления и оказавшиеся в кроне растения, отмирают.

Мониторинг за растениями голубики разных сортов показал, что они значительно разнятся по силе роста, подтверждением этому являются данные, представленные в табл. 1. Наибольшей силой роста в высоту (2,1 м) характеризуются сорта Hardyblue, Jersey и Nelson. Несколько ниже этот показатель у растений сортов Earliblue, Rubel (2,0 м), Bluecrop, Blueray, Herbert и Weymouth (1,9 м). Самыми низкорослыми в наших условиях среди высокорослых сортов голубики оказались растения сортов Carolinablue и Croatan (1,4 м).

Что касается диаметра кроны, то высокие значения этого показателя характерны для растений более высокорослых сортов голубики: Jersey, Nelson и Rubel, как правило, из-за отгибания длинных ветвей.

Среди полувысокорослых сортов голубики максимальной высотой растения характеризуется сорт Northland (1,7 м). Сорта Northblue и Northcountry практически не отличаются между собой как по высоте растения (1,3 м), так и по диаметру кроны (1,2×1,4 м). Отличительной особенностью растений сорта Northcountry от Northblue является более плотная подушковидная крона с большим числом тонких,гибающихся побегов.

Следует отдельно остановиться на североамериканском сорте голубики Northland, который в наших условиях по высоте растения превосходит не только тестируемые полувысокорослые сорта голубики, но и ряд сортов, относящихся к группе сортов высокорослой голубики (Blueose, Carolinablue, Croatan, Darrow, Denise Blue, Duke, Patriot и Reka). Раньше сорт Northland относился к группе сортов высокорослой голубики [4, 19]. С появлением менее высокорослых сортов голубики, таких как Chippewa, Cumberland, Friendship, Fundy, Little Giant, Northblue, Northcountry, Northsky, Polaris, St. Cloud, была обособлена группа сортов полувысокорослой голубики, к которой многие авторы [2, 6] начали относить и сорт Northland. По нашему мнению, вопрос причисления сорта Northland к группе полувысокорослых сортов является спорным, так как растения этого сорта существенно превосходят по высоте растения многих таксонов, относящихся к группе сортов высокорослой голубики.

Исследуемые сорта голубики разнятся по форме кроны, о чем свидетельствует коэффициент соотношения высоты растения к диаметру кроны. Чем ближе этот показатель к 1, тем форма растения более округлая и, соответственно, большее его значение указывает на продолговатую (обратнойцевидную) форму кроны. Коэффициент формы кроны у сортов голубики Coville, Croatan, Northblue и Northcountry равен 1, у остальных сортов – больше 1, что свидетельствует об обратнойцевидной или овальной кроне растений (табл. 2).

Сравнительный анализ биометрических параметров этих же растений в 10- и 20-летнем возрасте показал более медленное прохождение ростовых процессов во втором десятилетии, чем в первом. У высокорослых сортов голубики средняя высота растений увеличилась от 16 % у сорта Elizabeth до 88 % у сорта Blueose, а диаметр кроны – от 17 % у сорта Croatan до 89 % у сорта Nelson. У полувысокорослых сортов голубики диаметр кроны увеличился на 13–15 %, а высота растений – на 30–38 %. По высоте растений в 10-летнем возрасте лидировали сорта голубики Hardyblue (1,7 м), Elizabeth и Nelson (1,6 м) [12].

Сравнение биометрических параметров растений голубики в условиях Беларуси с литературными сведениями, показывает, что средняя высота растений многих сортов в пункте интродукции находится в диапазоне, характерном для растений, произрастающих в условиях их родины [20–23] (табл. 3).

В пункте интродукции энергия роста таких сортов, как Bluecrop, Blueray, Bluetta, Coville, Earliblue, Elizabeth, Hardyblue, Rubel, Weymouth, Northblue и Northcountry, оказалась выше, чем в условиях родины данных сортов (США). Рост растений сортов австралийской селекции Blueose и Carolinablue в пункте интродукции был слабым.

Высота 7-летних растений сорта Northblue в экологических условиях Эстонии при выращивании на минеральной почве составляла 45,9 см [24], в то время как в наших условиях она была в 1,5 раза выше – 71,0 см.

Т а б л и ц а 2. Особенности габитуса растений голубики высокорослой разных сортов

T a b l e 2. Features of the habitus of highbush blueberry of plants of different cultivars

Сорт	Крона		
	Форма	Структура	Плотность
Bluecrop	Обратнойцевидная	Слабораскидистая	Слаборыхлая
Blueray	Широкообратнойцевидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Bluerose	Овальная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Bluetta	Овальная	Компактная	Слаборыхлая
Carolinablue	Овальная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Coville	Шаровидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Croatian	Шаровидная	Раскидистая	Ажурная
Darrow	Широкообратнойцевидная	Раскидистая	Среднерыхлая
Denise Blue	Овальная	Компактная	Густая
Duke	Обратнойцевидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Earliblue	Обратнойцевидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Elizabeth	Обратнойцевидная	Раскидистая	Среднерыхлая
Hardyblue	Обратнойцевидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Herbert	Широкообратнойцевидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Jersey	Широкообратнойцевидная	Слабораскидистая	Слаборыхлая
Nelson	Широкообратнойцевидная	Слабораскидистая	Среднерыхлая
Patriot	Овальная	Слабораскидистая	Слаборыхлая
Reka	Обратнойцевидная	Слабораскидистая	Густая
Rubel	Широкообратнойцевидная	Раскидистая	Густая
Weymouth	Обратнойцевидная	Раскидистая	Среднерыхлая
Northblue	Шаровидная	Раскидистая	Слаборыхлая
Northcountry	Подушковидная	Раскидистая	Густая
Northland	Шаровидная	Раскидистая	Среднерыхлая

Таким образом, растения всех интродуцированных сортов голубики высокорослой и полувысокорослой в Беларуси сохраняют свойственную им в условиях их родины жизненную форму – прямостоячий кустарник. Биометрические параметры растений большинства привлеченных сортов голубики в пункте интродукции не уступают таковым на их родине.

Т а б л и ц а 3. Сравнительная оценка высоты генеративных растений голубики высокорослой разных сортов в условиях Беларуси и США

T a b l e 3. Comparative evaluation of the height of generative plants of highbush blueberry of different cultivars in the Belarus and the USA

Сорт	Высота растений, м		Сорт	Высота растений, м	
	Беларусь	США		Беларусь	США
<i>Голубика высокорослая</i>			Hardyblue	2,1	1,2–1,8
Bluecrop	1,9	1,2–1,8	Herbert	1,9	1,8–2,1
Blueray	1,9	1,5–1,8	Jersey	2,1	1,8–2,1
Bluerose	1,5	1,6–2,1	Nelson	2,1	1,5–2,1
Bluetta	1,7	0,9–1,5	Patriot	1,5	1,2–1,5
Carolinablue	1,4	–	Reka	1,5	1,2–1,8
Coville	1,7	0,9–1,2	Rubel	2,0	1,5–1,8
Croatian	1,4	1,2–1,8	Weymouth	1,9	1,2–1,5
Darrow	1,5	1,2–1,8	<i>Голубика полувысокорослая</i>		
Denise Blue	1,6	1,4–1,6	Northblue	1,3	0,5–0,7
Duke	1,6	1,2–1,6	Northcountry	1,3	0,5–1,0
Earliblue	2,0	1,2–1,8	Northland	1,7	1,2–2,1
Elizabeth	1,7	1,2–1,5			

Заклучение. Голубика высокорослая является древесным листопадным растением, относящимся к классу прямостоячих кустарников. Надземная часть генеративных растений голубики

представлена совокупностью разновозрастных ветвей. В зависимости от сорта 20-летние растения голубики высокорослой в условиях Беларуси достигают высоты 1,4–2,1 м, а голубики полувысокорослой – 1,3–1,7 м. Биометрические параметры растений большинства сортов голубики высокорослой и полувысокорослой в пункте интродукции незначительно превышают таковые в условиях их родины, что свидетельствует об успешной реализации одного из показателей адаптационного потенциала в экологических условиях Беларуси. Сортные особенности размерных характеристик растений голубики можно использовать для идентификации культиваров, а также следует учитывать при создании насаждений данной культуры.

Благодарности. Автор выражает благодарность кандидату биологических наук Ф. С. Пятнице и кандидату биологических наук Т. В. Курлович за помощь в сборе экспериментальных данных.

Acknowledgements. The author is grateful to Ph. D. F. S. Pyatnitsa and Ph. D. T. V. Kurlovich for help in collecting experimental data.

Список использованных источников

1. Hancock, J. Highbush blueberry breeding / J. Hancock // *Latvian J. of Agronomy*. – 2009. – Vol. 12. – P. 35–38.
2. Tamada, T. Blueberries in Japan / T. Tamada // *Blueberries for Growers, Gardeners, Promoters* / eds. : N. F. Childers, P. M. Lyrene. – Gainesville, 2006. – P. 239–242.
3. Павловский, Н. Б. Систематическое положение и классификация сортов голубики секции *Cyanococcus* / Н. Б. Павловский // *Плодоводство* : сб. науч. тр. / Ин-т плодоводства ; редкол. : В. А. Самусь (гл. ред.) [и др.] – Самохваловичи, 2013. – Т. 25. – С. 533–543.
4. Gough, R. E. *The Highbush Blueberry and Its Management* / R. E. Gough. – New York ; London : Norwood, 1994. – 262 p.
5. Lyrene, P. M. Varieties and Their Characteristics / P. M. Lyrene, J. R. Ballington // *Blueberries for Growers, Gardeners, Promoters* / eds. : N. F. Childers, P. M. Lyrene. – Gainesville, 2006. – P. 26–37.
6. Borówka wysoka / E. Cichoncka [et al.] ; pod red. K. Pliszka. – Warszawa : Państw. Wydawn. Rolnicze i Leśne, 2002. – 156 s.
7. Smolarz, K. Borywka i żurawina – zasady racjonalnej produkcji / K. Smolarz. – Warszawa : Hortpress Sp. z o.o., 2009. – 255 s.
8. Буткус, В. Ф. Биологическая и биохимическая характеристика голубики высокорослой (3. Морфологические особенности сортов) / В. Ф. Буткус, З. П. Буткене // *Тр. Акад. наук ЛитССР. Сер. В. Биол. науки*. – 1987. – Т. 2 (98). – С. 28–36.
9. Коломийцева, В. Ф. Голубика высокая / В. Ф. Коломийцева // *Клюква крупноплодная, голубика высокая, брусника* / А. К. Рипа, В. Ф. Коломийцева, Б. А. Аудрина ; отв. ред. Т. Ф. Пука. – Рига, 1992. – С. 121–150.
10. Конобеева, А. Б. Брусничные в Центрально-Черноземном регионе / А. Б. Конобеева. – Мичуринск : Изд-во Мичурин. гос. аграр. ун-та, 2007. – 230 с.
11. Коковкина, С. В. Интродукция голубики садовой в условиях Республики Коми / С. В. Коковкина, С. Д. Расова, Н. О. Ульнирова // *Плодоводство и ягодоводство России* : сб. науч. тр. / Всерос. селекцион.-технол. ин-т садоводства и питомниководства ; редкол. : И. М. Куликов (гл. ред.) [и др.]. – М., 2016. – Т. 46. – С. 143–146.
12. Сортные особенности вегетативной продуктивности маточных насаждений голубики высокорослой (*V. × coveilleianum*) / Ф. С. Пятница [и др.] // *Интенсификация плодоводства Беларуси : традиции, достижения, перспективы = Fruit-growing intensification in Belarus: traditions, progress, prospects* : материалы междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию Ин-та плодоводства, пос. Самохваловичи, 1 сент. – 1 окт. 2010 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т плодоводства ; [редкол. : В. А. Самусь (гл. ред.) и др.]. – Самохваловичи, 2010. – С. 237–242.
13. Курлович, Т. В. Габитус и урожайность зрелых растений сортовой голубики в репродуктивной фазе онтогенеза / Т. В. Курлович // *Опыт и перспективы возделывания голубики на территории Беларуси и сопредельных стран* : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–18 июля 2014 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. бот. сад ; [редкол. : В. В. Титок (отв. ред.) и др.]. – Минск, 2014. – С. 49–56.
14. Серебряков, И. Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных / И. Г. Серебряков. – М. : Высш. шк., 1962. – 380 с.
15. Мазуренко, М. Т. Вересковые кустарнички Дальнего Востока (структура и морфогенез) / М. Т. Мазуренко ; отв. ред. А. П. Хохряков; Акад. наук СССР, Дальневост. науч. центр, Ин-т биол. проблем Севера. – М. : Наука, 1982. – 184 с.
16. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции плодовых культур ; редкол. : Е. Н. Седов [и др.]. – Орел : ВНИИСПК, 1999. – 608 с.
17. Федоров, А. А. Атлас по описательной морфологии высших растений : стебель и корень / А. А. Федоров, М. Э. Кирпичникова, З. Т. Артюшенко ; под ред. П. А. Баранова. – М. ; Ленинград : Изд-во Акад. наук СССР, 1962. – 352 с.
18. Горбунов, А. Б. Голубика / А. Б. Горбунов // *Помология* : в 5 т. / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. ин-т селекции плодовых культур ; под общ. ред. Е. Н. Седова. – Орел : ВНИИСПК, 2014. – Т. 5. – С. 288–292.
19. Rejman, A. Borówka wysoka / A. Rejman, K. Pliszka. – Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1991. – 112 s.

20. Blueberry plant description chart | blueberry plants for sale [Electronic resource] // Blueberry Croft. Farm & Nursery. – Mode of access : <http://www.blueberrycroft.com/cms/northern-variety-description-chart-by-seasonal-ripening-time>. – Date of access : 03.02.2017.

21. Blueberry cultivars [Electronic resource] // Fruit and Nut. – Mode of access : <http://www.fruitandnut.ie/blueberry-varieties.html>. – Date of access : 03.02.2017.

22. Types and Varieties of Blueberries [Electronic resource] // The Gardener's Net Work. – Mode of access : <http://www.gardenersnet.com/fruit/blueberryvarieties.htm>. – Date of access : 03.02.2017.

23. Blueberry Blue Rose [Electronic resource] // Ramm Botanicals. – Mode of access : <http://www.ramm.com.au/ramm-catalogue/catalogue/item/7-blueberry/63-blueberry-rammberries-blue-rose>. – Date of access : 03.02.2017.

24. Influence of soil the on half-highbush blueberry productivity / T. Tasa [et al.] // *Agricult. and Food Sci.* – 2012. – N 21. – P. 409–420.

References

- Hancock J. Highbush blueberry breeding. *Latvian Journal of Agronomy*, 2009, vol. 12, pp. 35–38.
- Tamada T. Blueberries in Japan. *Blueberries for Growers, Gardeners, Promoters*, eds. N. F. Childers, P. M. Lyrene, Florida, Gainesville, 2006, pp. 239–242. (in Russian).
- Pavlovskiy N. B. Systematic position and classification of cultivars of blueberry *Cyanococcus* section. *Plodovodstvo* [Fruitgrowing], 2013, vol. 25, pp. 533–543. (in Russian).
- Gough R. E. *The highbush blueberry and its management*. New York, London, Norwood, 1994. 262 p.
- Lyrene P. M., Ballington J. R. Varieties and their characteristics. *Blueberries for Growers, Gardeners, Promoters*, eds. N. F. Childers, P. M. Lyrene, Florida, Gainesville, 2006, pp. 26–37.
- Cichoncka E., Dziecioł R., Karwowski J., Marzec-Wołczyńska T., Pliszka K., Ścibisz K., Żakowicz S. *Borówka wysoka*, pod red. K. Pliszka. Warszawa, Państw. Wydawn. Rolnicze i Leśne, 2002. 156 p. (in Polish).
- Smolarz K. *Borywka i żurawina – zasady racjonalnej produkcji*. Warszawa, Hortpress Sp. Z o.o., 2009, 255 p. (in Polish).
- Butkus V. F., Butkene Z. P. Biological and biochemical characteristics of highbush blueberry (3. Morphological features of cultivars). *Trudy Akademii nauk LitSSR, Seriya V. Biologicheskie nauki* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR, Series V. Biological sciences], 1987, vol. 2 (98), pp. 28–36. (in Russian).
- Kolomiytseva V. F. Highbush blueberry. *Klyukva krupnoplodnaya, golubika vysoka, brusnika* [Cranberry, Highbush blueberry, Lingonberry], A. K. Ripa, V. F. Kolomiytseva, B. A. Audrinia, otv. red. T. F. Puka, Riga, 1992, pp. 121–150. (in Russian).
- Konobeyeva A. B. *Cowberry's in the Central Black Earth region*. Michurinsk, Izdatel'stvo Michurinskogo agrarnogo universiteta, 2007. 230 p. (in Russian).
- Kokovkina S. V., Rasova S. D., Ul'nyrova N. O. Introduction blueberry garden in the Republic of Komi. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Fruit and berry-culture Russian]. Moscow, 2016, vol. 46, pp. 143–146. (in Russian).
- Pyatnitsa F. S., Kurlovich T. V., Rupasova Zh. A., Pavlovsky N. B. Varietal features of vegetative productivity uterine plantings of highbush blueberry (*V. × covilleianum*). *Materials of the international scientific conference devoted to the 85th anniversary of the Horticulture Institute "Fruit-growing intensification in Belarus: traditions, progress, prospects"*, Samokhvalovich, 2010, pp. 237–242. (in Russian).
- Kurlovich T. V. Habit and yield mature plants varietal blueberries in the reproductive phase of ontogenesis. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Opyt i perspektivy vozdel'vaniya golubiki na territorii Belarusi i so-predel'nykh stran"* [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Experience and prospects of cultivation of blueberries in Belarus and neighboring countries"], Minsk, 2014, pp. 49–56. (in Russian).
- Serebryakov I. G. *Ecological plant morphology. Life forms of angiosperms and conifers*. Moscow, Vysshaya shkola, 1962. 380 p. (in Russian).
- Mazurenko M. T. *Ericaceae shrubs of the Far East (structure and morphogenesis)*, in A. P. Khokhryakov (ed.), Moscow, Nauka, 1982. 184 p. (in Russian).
- Program and methods cultivar fruit, berry and nut crops*. Orel, Vserosiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur, 1999. 608 p. (in Russian).
- Fedorov A. A., Kirpichnikova M. E., Artyushenko Z. T. *Atlas on descriptive morphology of higher plants: stem and root*, in P. A. Baranova (ed.). Moscow, Leningrad, Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR, 1962. 352 p. (in Russian).
- Gorbunov A. B. Blueberry. *Pomologiya: v 5 t.* [Pomology: in 5 vol.], in Sedova Ye. N. (ed.), Orel, Vserosiiskii nauchno-issledovatel'skii institut selektsii plodovykh kul'tur, 2014, vol. 5, pp. 288–292. (in Russian).
- Rejman A., Pliszka K. *Borówka wysoka*. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1991, 112 p.
- Blueberry plant description chart | blueberry plants for sale. *Blueberry Croft. Farm & Nursery*. Available at : <http://www.blueberrycroft.com/cms/northern-variety-description-chart-by-seasonal-ripening-time> (accessed 03.02.2017).
- Blueberry cultivars. *Fruit and Nut*. Available at : <http://www.fruitandnut.ie/blueberryvarieties.html> (accessed 03.02.2017).
- Types and Varieties of Blueberries. *The Gardener's Net Work*. Available at : <http://www.gardenersnet.com/fruit/blueberryvarieties.html> (accessed 03.02.2017).
- Blueberry Blue Rose. *Ramm Botanicals*. Available at : <http://www.ramm.com.au/ramm-catalogue/catalogue/item/7-blueberry/63-blueberry-rammberries-blue-rose> (accessed 03.02.2017).
- Tasa T., Starast M., Vool E., Moor U., Karp K. Influence of soil the on half-highbush blueberry productivity. *Agricultural and Food Science*, 2012, vol. 21, pp. 409–420.

Информация об авторе

Павловский Николай Болеславович – канд. биол. наук, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pavlovskiy@tut.by.

Для цитирования

Павловский, Н. Б. Биоморфологические особенности сортов голубики высокорослой, интродуцированных в Беларуси / Н. Б. Павловский // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 18–25.

Information about the author

Nikolay B. Pavlovskiy – Ph. D. (Biol.), Head of the Laboratory. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavlovskiy@tut.by.

For citation

Pavlovskiy N. B. Morphobiological particularities of the plants of highbush blueberry cultivars introduced in Belarus. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 18–25.

И. М. Гаранович, Н. В. Македонская, А. В. Архаров, Е. Д. Блинковский

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ САЖЕНЦЕВ ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Показано положительное влияние на рост и развитие саженцев декоративных древесных растений физиологически активных препаратов органического происхождения Стимпо, НВ-101 и Эрид Гроу.

Наибольшая эффективность препарата Стимпо установлена при одновременном поливе и опрыскивании сеянцев и черенков. Позитивный эффект использования препарата Эрид Гроу в большей степени проявляется у листовых пород.

Ключевые слова: биологически активные вещества, рост, развитие растений.

I. M. Garanovich, N. V. Makedonskaya, A. V. Arkharov, E. D. Blinkovskii

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

IMPACT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF ORNAMENTAL WOODY PLANTS

There has been shown a positive impact of physiologically active preparations of organic origin Stimpo, NB-101 and Arid Grow on growth and development of seedlings of ornamental woody plants.

The greatest efficiency of Stimpo preparation has been observed in conditions of simultaneous watering and sprinkling of seedlings and sprigs. A positive impact of using Arid Grow preparation has been greater in case of foliage species.

Keywords: biologically active substances, growth, plants development.

Введение. В современном питомниководстве существенное внимание уделяется качеству посадочного материала и разработке технологий ускоренного выращивания саженцев. В этой связи особая роль отводится экологически безопасным органическим ростстимулирующим препаратам [1, 2]. Их действие обусловлено активизацией процессов усвоения растениями элементов питания, увеличением содержания полезных микроорганизмов в почве и другими факторами [3, 4].

С целью расширения сферы применения данных препаратов в 2015–2016 гг. в условиях открытого грунта исследовано влияние на рост и развитие саженцев декоративных древесно-кустарниковых растений следующих физиологически активных веществ (ФАВ): Стимпо, НВ-101, Эрид Гроу.

Стимпо – биостимулятор (регулятор роста) растений органического происхождения. Препарат представляет собой прозрачный водно-спиртовой раствор [5, 6] и является продуктом биотехнологического выращивания грибов-эпифитов на корневой системе женьшеня. В состав препарата включена сбалансированная композиция фитогормонов, витаминов, аминокислот, свободных жирных кислот, олигосахаридов, хитозана и биогенных микроэлементов (Zn, Cu, Mn, Mg, Ca, Fe, Na, K). Это полифункциональный препарат широкого спектра действия. Применяется для обработки семян и опрыскивания растений в период вегетации. В основном рекомендуется для сельскохозяйственных культур. Он способствует ускоренному делению растительных клеток, развитию более мощной корневой системы, увеличению площади листовой поверхности и содержания хлорофилла, а также снижает фитотоксическое действие пестицидов, обладает антимуtagenным эффектом, улучшает качество выращенной продукции, повышает урожайность, устойчивость растений к болезням и неблагоприятным факторам внешней среды [5].

НВ-101 – концентрированный жидкий несинтезированный питательный раствор, полученный из экстрактов растений, известных своим долголетием и большой жизненной силой: криптомерии японской, кипариса, сосны и подорожника. Это полностью натуральный препарат, стимулирующий рост растений, а также их иммунную систему. Он помогает растению максимально

реализовать свой внутренний потенциал и использовать ресурсы окружающей среды. В его состав входят (в мг/л): азот – 97, натрий – 41, кальций – 33, железо – 1,8, магний – 3,3, кремний – 7,4. Препарат НВ-101 обладает практически теми же преимуществами, что и Стимпо. Это экологически чистый, нетоксичный, безопасный, экономичный и удобный в применении продукт, эффективный для всех видов растений. Он отличается комплексным воздействием.

Препарат Эрид Гроу является активным мелиорантом-почвоулучшителем и представляет собой полученный по специальной технологии при переработке торфа натуральный высококонцентрированный продукт с его последующей физико-химической модификацией, обеспечивающей придание органическим соединениям необходимых потребительских свойств и качеств. Основными компонентами Эрид Гроу являются природные экологически чистые органические вещества торфа, сапропеля и лигнина. Применяется в качестве органического удобрения для подкормки цветочных и декоративных культур.

Объекты и методы исследования. Испытание перечисленных ростовых стимуляторов осуществляли в рамках полевых опытов на дерново-подзолистой среднекислой ($pH_{\text{КСЛ}}$ 4,5–5,6), среднегумусированной (содержание гумуса 3,2 %), среднеобеспеченной элементами минерального питания (содержание P_2O_5 – 220 мг/кг, K_2O – 700 мг/кг) окультуренной супесчаной почве, развитой на рыхлых пылевато-песчаных супесях, подстилаемых песками.

В качестве объектов исследований в опыте с препаратами Стимпо и НВ-101 использовали однолетние черенки сортовой сирени *Минская красавица* и *Радж Канур*, в опыте с препаратом Эрид Гроу – саженцы хвойных (ель канадская '*Conica*', можжевельник чешуйчатый '*Holger*') и лиственных (форзиция промежуточная '*Golden Times*', вейгела гибридная и вейгела цветущая '*Nana Purpurea*') растений.

Опрыскивание и полив сеянцев и укорененных черенков декоративных древесно-кустарниковых растений проводили во время посадки на доращивание. Препарат Эрид Гроу вносили в почву путем трехкратного полива растений с интервалом в 14 дней в разведении 1:50 и 1:100. При посадке опытные растения поливали растворами биостимуляторов в концентрации 1 капля на 1 л воды.

Морфометрические параметры растений (высоту, величину текущего прироста и длину корней) определяли в конце вегетационного периода. Данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики и компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Ответная реакция сортовой сирени на применение стимуляторов роста показала, что обработка черенков препаратами Стимпо и НВ-101 существенно активизировала ростовые процессы у обоих сортов. Это подтверждалось достоверным увеличением у последних количества новообразованных побегов и размеров их текущего прироста по сравнению с контрольным вариантом опыта (табл. 1). Относительные величины этих показателей приведены в табл. 2.

Таблица 1. Показатели текущего прироста надземных органов двухлетних черенков сирени на фоне применения ФАВ

Table 1. The current rates of growth of aboveground organs of the two cuttings of lilac on the conditions of the use of physiologically active substances

Вариант опыта	Прирост текущего года, см		К-во побегов, шт.	
	$\bar{X} \pm st$	t_{st}	$\bar{X} \pm st$	t_{st}
<i>Сорт Минская красавица</i>				
Контроль	7,3 ± 0,5		2,0 ± 0,2	
Стимпо	11,9 ± 0,8	3,7*	3,0 ± 0,2	3,2*
НВ-101	8,6 ± 0,6	2,9*	6,0 ± 0,7	4,7*
<i>Сорт Радж Канур</i>				
Контроль	4,1 ± 0,3		1,0 ± 0,1	
Стимпо	11,6 ± 0,9	6,4*	2,3 ± 0,4	2,1*
НВ-101	5,8 ± 0,6	4,9*	2,0 ± 0,2	6,1*

Примечание. * – статистически значимые по t -критерию Стьюдента различия по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

При этом, независимо от сортовой принадлежности растений, препарат Стимпо оказал в 3,5–4,4 раза более выраженное, особенно у сорта *Радж Канур*, позитивное влияние на формирование текущего прироста новообразованных побегов по сравнению с препаратом НВ-101. Вместе с тем стимулирующее действие препарата НВ-101 в плане увеличения количества побегов у сорта *Минская красавица* оказалось в 4 раза более значительным, чем препарата Стимпо, тогда как у сорта *Радж Канур* наблюдалась противоположная этой картине при меньшей выразительности межвариантных различий (в пределах 1,3-кратных расхождений). Это однозначно указывало на сортоспецифичность ответной реакции сирени обыкновенной на применение испытывавшихся препаратов на фоне разной степени их воздействия на анализируемые показатели ростовой функции опытных объектов.

Таблица 2. Относительные различия с контролем показателей текущего прироста надземных органов двухлетних черенков сирени на фоне применения ФАВ, %

Table 2. The relative differences in the control of the current growth of aboveground organs of the two cuttings of lilac on the conditions of the use of physiologically active substances, %

Вариант опыта	Прирост текущего года	К-во побегов
<i>Сорт Минская красавица</i>		
Стимпо	+63,0	+50,0
НВ-101	+17,8	+200,0
<i>Сорт Радж Канур</i>		
Стимпо	+182,9	+130,0
НВ-101	+41,5	+100,0

На следующем этапе эксперимента однолетние сеянцы и черенки сирени обыкновенной после посадки в грунт обрабатывали более высокой концентрацией препарата Стимпо (1 мл на 2 л воды) разными способами – поливом, опрыскиванием и их совместным применением. Как следует из табл. 3, 4, независимо от способа применения препарата установлено выраженное позитивное действие данного агроприема на рост и развитие черенков и сеянцев сирени обыкновенной. Это подтверждалось достоверным увеличением их высоты при всех вариантах опыта соответственно на 73–102 и 9–188 % по сравнению с контролем. Вместе с тем наибольшая эффективность от действия препарата Стимпо установлена при одновременном поливе и опрыскивании сеянцев и черенков сирени обыкновенной.

Таблица 3. Высота сеянцев и черенков сирени при разных способах применения препарата Стимпо, см

Table 3. Height of seedlings and cuttings of lilac with different ways of applying the drug Stimpo, cm

Вариант опыта	Сеянцы	Черенки
	$\bar{X} \pm st$	$\bar{X} \pm st$
Контроль	3,3 ± 0,1	5,1 ± 0,2
Полив	3,6 ± 0,1*	9,3 ± 1,3*
Опрыскивание	3,8 ± 0,2*	8,8 ± 2,0*
Полив + опрыскивание	9,5 ± 0,8*	10,3 ± 0,3*

Примечание. * – вариант опыта со статистически значимыми по *t*-критерию Стьюдента различиями по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

Таблица 4. Относительные различия с контролем высоты сеянцев и черенков сирени при разных способах применения препарата Стимпо, %

Table 4. Relative differences with the control height of seedlings and cuttings of lilac, with different ways of use the drug Stimpo, %

Вариант опыта	Сеянцы	Черенки
Полив	+9,1	+82,4
Опрыскивание	+15,2	+72,5
Полив + опрыскивание	+187,9	+102,0

Испытание удобрения Эрид Гроу в концентрациях 1:50 и 1:100 на саженцах нескольких видов декоративных растений во всех случаях выявило отчетливый позитивный эффект от его применения, что подтверждают данные табл. 5. Вместе с тем из-за различий исходных размеров опытных растений объективное представление о степени воздействия данного удобрения на исследуемые показатели развития их надземных и подземных органов можно составить по относительным размерам достоверных изменений последних по сравнению с контролем. Как следует из табл. 6, величина данных изменений существенно зависела от генотипа растений, но при этом во всех случаях наблюдалось нарастание эффективности мелиоранта при повышении его концентрации как в надземной, так и в подземной части растений. Следует отметить, что у ели канадской, форзиции промежуточной и вейгелы гибридной наиболее выраженная активизация ростовых процессов наблюдалась в их надземной части, тогда как в зоне ризогенеза проявление позитивного эффекта от действия препарата выявлено лишь на фоне более высокой его концентрации, а у вейгелы гибридной даже в этом случае достоверного влияния на развитие корневой системы не установлено. В отличие от данных видов, для можжевельника чешуйчатого и вейгелы цветущей отмечалась противоположная картина – более выраженное усиление роста подземной части растений, нежели в надземной. Данная информация позволяет прогнозировать ожидаемый эффект в плане улучшения декоративных свойств тех или иных растений от применения удобрения Эрид Гроу.

Таблица 5. Параметры развития надземных и подземных органов саженцев декоративных растений при обработке разными концентрациями удобрения Эрид Гроу, см

Table 5. Development settings aboveground and underground organs of seedlings of ornamental plants in the processing of different concentrations of fertilizer Erid Grow, sm

Вариант опыта	Ель канадская 'Conica'	Можжевельник чешуйчатый 'Holger'	Форзиция промежуточная 'Golden Times'	Вейгела гибридная	Вейгела цветущая 'Nana Purpurea'
Средняя высота растения					
Контроль	7,0 ± 0,3	18,3 ± 0,4	6,0 ± 0,4	24,9 ± 2,1	27,2 ± 1,1
1:50	12,5 ± 0,8*	19,4 ± 0,3*	14,4 ± 1,1*	53,0 ± 3,4*	33,9 ± 1,9*
1:100	13,9 ± 1,1*	21,1 ± 0,8*	18,8 ± 1,1*	56,6 ± 3,1*	37,4 ± 2,0*
Средняя длина корневой системы					
Контроль	14,3 ± 0,8	16,2 ± 0,9	12,0 ± 0,5	23,0 ± 1,1	9,9 ± 0,4
1:50	14,4 ± 1,1	19,1 ± 1,1*	12,7 ± 0,6	23,3 ± 0,9	14,6 ± 1,1*
1:100	17,2 ± 1,2*	19,3 ± 1,1*	16,8 ± 0,7*	24,5 ± 1,4	20,0 ± 1,3*

Примечание. * – вариант опыта со статистически значимыми по *t*-критерию Стьюдента различиями по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

Таблица 6. Относительные различия с контролем параметров развития надземных и подземных органов саженцев декоративных растений в вариантах опыта с обработкой удобрением Эрид Гроу, %

Table 6. Relative differences with control parameters for the development of aboveground and underground organs of seedlings of ornamental plants, varieties of experience with handling fertilizer Erid Grow, %

Вариант опыта	Ель канадская 'Conica'	Можжевельник чешуйчатый 'Holger'	Форзиция промежуточная 'Golden Times'	Вейгела гибридная	Вейгела цветущая 'Nana Purpurea'
Средняя высота растения					
1:50	+78,6	+6,0	+140,0	+112,9	+24,6
1:100	+98,6	+15,3	+213,3	+127,3	+37,5
Средняя длина корневой системы					
1:50	–	+17,9	–	–	+47,5
1:100	+20,3	+19,1	+40,0	–	+102,2
Совокупный эффект	+197,5	+58,3	+393,3	+240,2	+211,8

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

С целью выявления степени восприимчивости модельных объектов к испытывавшемуся мелиоранту на основании табл. 6 определен совокупный для обоих вариантов опыта позитивный эффект в надземной и подземной частях каждого вида растений. В порядке снижения данного показателя исследуемые таксоны расположились следующим образом:

форзиция промежуточная > вейгела гибридная > вейгела цветущая > ель канадская > можжевельник чешуйчатый.

Наибольшей восприимчивостью в целом к воздействию удобрения Эрид Гроу характеризовалась форзиция промежуточная, наименьшей – можжевельник чешуйчатый, при расхождении крайних позиций в приведенном ряду в 6,7 раза. При этом при применении Эрид Гроу у лиственных растений отмечалась большая степень активизации ростовых процессов, нежели у хвойных.

Заключение. В результате испытания биологически активных препаратов Стимпо и НВ-101 на сирени обыкновенной выявлено их позитивное влияние на новообразование и формирование текущего прироста побегов, особенно при использовании первого из них, при выраженной сорто-специфичности ответной реакции растений на их применение. Наибольшая эффективность от действия препарата Стимпо установлена при одновременном поливе и опрыскивании семян и черенков данного вида.

В результате испытания удобрения Эрид Гроу в концентрациях 1:50 и 1:100 на саженцах нескольких видов хвойных и лиственных растений выявлен позитивный эффект, нарастающий с увеличением концентрации. При этом более выраженным он был в надземной части у ели канадской, форзиции промежуточной и вейгелы гибридной, в подземной – у можжевельника чешуйчатого и вейгелы цветущей. Наибольшая восприимчивость в целом к воздействию мелиоранта установлена у форзиции промежуточной, тогда как наименьшая, уступавшая ей в 6,7 раза, – у можжевельника чешуйчатого. Показано, что при его применении у лиственных растений большая степень активизации ростовых процессов, нежели у хвойных.

Список использованных источников

1. Великанов, Л. Л. Экологические проблемы защиты растений от болезней / Л. Л. Великанов, И. И. Сидорова // Итоги науки и техники. – М., 1988. – Т. 6. – С. 45–108.
2. Вакуленко, В. В. Регуляторы роста / В. В. Вакуленко // Защита и карантин растений. – 2004. – № 1. – С. 24–26.
3. Пентелькина, Н. В. Повышение всхожести семян путем обработки стимуляторами роста / Н. В. Пентелькина, А. Н. Буторин, М. В. Родионова // Проблемы экологии в современном мире : материалы II Всерос. интернет-конф., 19–21 апр. 2005 г. / Тамбов. гос. ун-т им. Г. Р. Державина. – Тамбов, 2005. – С. 48–52.
4. Регуляторы роста растений с антистрессовыми и иммунопротекторными свойствами / Л. Д. Прусакова [и др.] // Агрохимия. – 2005. – № 11. – С. 76–86.
5. Бабков, А. В. Влияние регулятора роста Стимпо на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* L. Karst / А. В. Бабков // Регуляция роста, развития и продуктивности растений : материалы VIII Междунар. науч. конф. (Минск, 28–30 окт. 2015 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Гос. науч. учреждение «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича», Белорус. обществ. об-ние физиологов растений ; науч. ред. Н. А. Ламан. – Минск, 2015. – С. 13.
6. Регуляторы роста Стимпо и Регоплант в физиолого-биохимических процессах выращивания люпина белого / С. П. Пономаренко [и др.] // Регуляция роста, развития и продуктивности растений : материалы VIII Междунар. науч. конф. (Минск, 28–30 окт. 2015 г.) / Нац. акад. наук Беларуси, Гос. науч. учреждение «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича», Белорус. обществ. об-ние физиологов растений ; науч. ред. Н. А. Ламан. – Минск, 2015. – С. 93.

References

1. Velikanov L. L., Sidorova I. I. Ecological problems of plant protection from diseases. *Itogi nauki i tekhniki* [The results of Science and Technology], Moscow, 1988, vol. 6, pp. 45–108. (in Russian).
2. Vakulenko V. V. Growth regulators. *Zashhita i karantin rastenij* [Protection and quarantine of plants], 2004, no. 1, pp. 24–26. (in Russian).
3. Pentel'kina N. V., Butorin A. N., Rodionova M. V. Increase of seed germination by treatment with growth stimulants. *Materialy II Vserossijskoj internet-konferencii "Problemy jekologii v sovremennom mire"* [Materials of the II All-Russian Internet Conference "Problems of ecology in the modern world"]. Tambov, 2005, pp. 48–52. (in Russian).
4. Prusakova L. D., Malevannaia N. N., Beloukhov S. L., Vakulenko V. V. Plant growth regulators with anti-stress and immunoprotective properties. *Agrokhimiia* [Agrochemistry], 2005, no. 11, pp. 76–86. (in Russian).

5. Babkov A. V. Influence of Stimpo growth regulator on germination energy and laboratory germination of seeds of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* L. Karst. *Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Reguljacija rosta, razvitija i produktivnosti rastenij"* [Materials of the VIII International Scientific Conference "Regulation of growth, development and productivity of plants"]. Minsk, 2015, p. 13. (in Russian).

6. Ponomarenko S. P., Pyda S. V., Kinonchuk A. B., Triguba E. V. Stimpo and Regoplant growth regulators in the physiological and biochemical processes of growing white lupine. *Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Reguljacija rosta, razvitija i produktivnosti rastenij"* [Materials of the VIII International Scientific Conference "Regulation of growth, development and productivity of plants"]. Minsk, 2015, p. 93. (in Russian).

Информация об авторах

Гаранович Игорь Михайлович – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Македонская Наталья Викторовна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Архаров Александр Владимирович – вед. инженер. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Блинковский Евгений Дмитриевич – мл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Для цитирования

Влияние биологически активных веществ на рост и развитие саженцев декоративных древесно-кустарниковых растений / И. М. Гаранович [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2017. – № 3. – С. 26–31.

Information about the authors

Igor M. Garanovich – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Natalia V. Makedonskaya – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Aleksandr V. Arkharov – Management Engineer. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

Evgenii D. Blinkovskii – Junior researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bel.dendr@gmail.com.

For citation

Garanovich I. M., Makedonskaya N. V., Arkharov A. V., Blinkovskii E. D. Impact of biologically active substances on growth and development of seedlings of ornamental woody plants. *Vesti Natsyyanal'noi akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 26–31.

А. В. Кручонок, М. А. Бедуленко, Б. Ю. Аношенко, В. В. Титок

Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ИСКУССТВЕННЫЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ РЕДКИХ И ИСЧЕЗАЮЩИХ ВИДОВ БЕЛОРУССКОЙ ФЛОРЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА НАН БЕЛАРУСИ

Представлены результаты инвентаризации искусственных ценопопуляций редких видов растений природной флоры в условиях Центрального ботанического сада НАН Беларуси. Описано 24 искусственные ценопопуляции, отмечено существование двух спонтанных. Ценопопуляции разделены на четыре группы: 1-я группа – это успешно натурализовавшиеся и развивающиеся по инвазионному типу (9 ценопопуляций); 2-я группа – 7 неполноценных ценопопуляций, испытывающих антропогенное воздействие; 3-я группа – 8 новых ценопопуляций, 4-я группа – 2 спонтанные ценопопуляции. Проведено картирование 26 ценопопуляций 16 видов. К охранной категории I (CR – critically endangered) относятся 6 ценопопуляций: *Astrantia major* L. ($n = 3$), *Dryocallis rupestris* (L.) Sojk ($n = 1$), *Iris aphylla* L. ($n = 1$), *Vicia pisiformis* L. ($n = 1$). К категории II (EN – endangered) принадлежат 3 ценопопуляции: *Clematis recta* L. ($n = 1$) и *Hedera helix* L. ($n = 2$). Пять ценопопуляций состоят из видов III категории охраны (VU – vulnerable): *Allium ursinum* L. ($n = 2$), *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald ($n = 2$), *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem. ($n = 1$). К IV категории (NT – near threatened) относятся 6 ценопопуляций: *Campanula latifolia* L. ($n = 1$), *Iris sibirica* L. ($n = 1$), *Lilium martagon* L. ($n = 1$), *Lunaria rediviva* L. ($n = 3$). Еще 7 групп из списка видов профилактической охраны: *Digitalis grandiflora* Mill. ($n = 1$), *Geranium phaeum* L. ($n = 1$), *Epipactis helleborine* (L.) Crantz ($n = 1$), *Hepatica nobilis* Mill. ($n = 1$), *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. (1), *Tulipa sylvestris* L. ($n = 2$). Построены онтогенетические спектры ценопопуляций, определены стадии развития групп, особенности жизненной стратегии. Во время инвентаризации устойчивых, включившихся в фитоценозы ценопопуляций сняты морфологические параметры составляющих их особей. По этим параметрам рассчитан индекс IVI (индекс виталитета особи). Виталитетный тип всех включенных в фитоценозические отношения искусственных ЦП определен как процветающий. Выделены две ценопопуляции депрессивного виталитетного типа.

Ключевые слова: искусственные ценопопуляции, *ex situ*, редкие и охраняемые растения, онтогенетический спектр, виталитет.

A. V. Kruchonok, M. A. Bedulenko, B. Yu. Anoshenko, V. V. Titok

Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ARTIFICIAL CENOPOPULATIONS OF RARE AND ENDANGERED BELARUSIAN FLORA SPECIES IN THE CENTRAL BOTANICAL GARDEN OF NAS OF BELARUS

The results of inventory of artificial cenopopulations of rare plants of natural flora in the conditions of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (CBG) are presented. 24 artificial and 2 spontaneous cenopopulations of 16 plant species were inventoried and mapped on CBG territory. All cenopopulations were classified into 4 groups: successfully naturalized and invasive developing ($n = 9$ cenopopulations), inferior cenopopulations under anthropogenic exposure ($n = 7$), newly created cenopopulations ($n = 8$) and spontaneous cenopopulations ($n = 2$). 6 cenopopulations of *Astrantia major* L. ($n = 3$), *Dryocallis rupestris* (L.) Sojk ($n = 1$), *Iris aphylla* L. ($n = 1$), *Vicia pisiformis* L. ($n = 1$) are belonging to the category of critically endangered species (CR). 3 cenopopulations of *Clematis recta* L. ($n = 1$) and *Hedera helix* L. ($n = 2$) are belonging to the category of endangered species (EN). 5 cenopopulations of *Allium ursinum* L. ($n = 2$), *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald ($n = 2$), *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem. ($n = 1$) are belonging to the category of vulnerable species (VU). 6 cenopopulations of *Campanula latifolia* L. ($n = 1$), *Iris sibirica* L. ($n = 1$), *Lilium martagon* L. ($n = 1$), *Lunaria rediviva* L. ($n = 3$) are belonging to the category of near threatened species (NT). The cenopopulations of *Digitalis grandiflora* Mill. ($n = 1$), *Geranium phaeum* L. ($n = 1$), *Epipactis helleborine* (L.) Crantz ($n = 1$), *Hepatica nobilis* Mill. ($n = 1$), *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. (1), *Tulipa sylvestris* L. ($n = 2$) are categorised as conservation dependent species (CD). Ontogenetic spectra of cenopopulations studied were constructed and development stages of their groups and vital strategy peculiarity were detected. Individual vitality index (IVI) was estimated based on morphological characteristics of individual plants composing cenopopulations. Vitality of all artificial cenopopulations entered into natural phytocenosis was identified as prosper type. Two cenopopulations were assessed to have depressive vitality type.

Keywords: artificial coenopopulations, *ex situ* conservation, rare and endangered plants, vitality.

Введение. Темпы деградации и обеднения природных фитоценозов под воздействием комплекса агрессивных факторов привели к необходимости проведения комплекса охранных мероприятий в рамках ботанических садов с целью изучения, сохранения и подготовки к возвращению в естественную среду исчезающих видов растений. Создание модельных площадок в условиях *ex situ* и наблюдение за особенностями развития искусственных ценопопуляций (ЦП) позволяет избегать ошибок в *in situ* охранных мероприятиях и правильно строить тактику транслокаций (перенесение критических популяций в сходные условия). В Центральном ботаническом саду НАН Беларуси (далее – ЦБС) уже около 30 лет проводятся исследования на базе искусственно созданных ЦП.

Цель данной работы – инвентаризировать имеющиеся на территории ЦБС ценопопуляции редких растений и объективно оценить их виталитет и векторы развития.

Материалы и методы исследования. На территории ЦБС в разные годы созданы и проходят мониторинг 26 модельных искусственных ЦП редких и охраняемых видов растений (рис. 1). Каждой ЦП присвоен индивидуальный код (СР), и все они картированы с помощью геоинформационного пакета QGIS. Создана база данных, документирующая такие параметры ЦП, как состав и динамика базового онтогенетического спектра, генеративное и вегетативное возобновление, особенности формирования морфоструктуры, ведутся фенологические и онтогенетические учеты, отслеживается пространственное горизонтальное и вертикальное популяционное распределение, реакция на биотические и абиотические факторы, учитывается степень антропогенных нагрузок. Описания и мониторинг ЦП проводили по принятым методикам [1–3]. Эдафические условия, экспозицию рельефа определяли по существующей почвенной GIS-карте ЦБС [4].

Результаты и их обсуждение. Первые 12 ЦП редких видов были заложены в 1995–2001 гг. И. В. Лознухо в Секторе белорусской дендрофлоры. На сегодняшний день сохранились 8 ЦП 5 видов [5, 6]. Более не отмечаются как искусственные ЦП *Gladiolus imbricatus* L., *Primula veris* L., *P. elatior* (L.) Hill, *Pyrethrum corymbosum* (L.) Scop., *Digitalis grandiflora* Mill., *Cypripedium calceolus* L., которые исчезли по таким причинам, как неподходящие условия произрастания, антропогенный пресс, слабый виталитет ЦП, элиминация вследствие неполноценности ЦП, конкуренция со стороны предшественников чужеродных флор.

Остальные ЦП, высаженные на территории ЦБС с 1995–1999 гг., развиваются успешно, включаются в синантропные фитоценозы и даже образуют новые локалитеты (СР1, СР5 – *Lunaria rediviva* L.), выдерживают значительный антропогенный пресс (СР21 – *Astrantia major* L., СР19 – *Geranium phaeum* L.), образуют доминирующее покрытие (СР16 – *Hedera helix* L.).

С 2010 г. была продолжена работа по закладке мониторинговых участков в рамках исполнения задания ГПНИ «Интродукция, изучение закономерностей развития, обоснование перспективности и направлений использования новых и нетрадиционных видов растений в народном хозяйстве республики». На 2016 г. успешно развиваются 8 из них. Некоторые виды, высаженные в этот период (СР007, СР008, СР009, СР010, СР011, СР012, СР026) обладают декоративными свойствами, расположены в ключевых местах дорожно-тропиночной сети ЦБС и приурочены к выгодным обзорным точкам. Они испытывают наибольшее антропогенное влияние (вытаптывание, покос, сбор листьев, цветков, семян). Эти насаждения не обладают полновозрастной структурой. Дальнейшие наблюдения за ними как за модельными объектами для репатриационных мероприятий являются нецелесообразными. Однако эти посадки служат хорошим материалом для оценки влияния антропогенных нагрузок на развитие редких и исчезающих растений, а также являются объектами образовательных и просветительских программ, которые проводятся в Саду.

В 2016 г. в рамках исследований Государственной программы «Природопользование и экология, подпрограммы 10.2 «Биоразнообразие, биоресурсы, экология» задания «Создание научных основ формирования национального резервного генофонда редких и исчезающих видов растений природной флоры Беларуси и определение путей их сохранения и репатриации» в Секторе белорусской дендрофлоры с учетом подобию условий мест естественного произрастания заложено 8 новых мониторинговых площадок с 7 видами редких и исчезающих растений. Материал

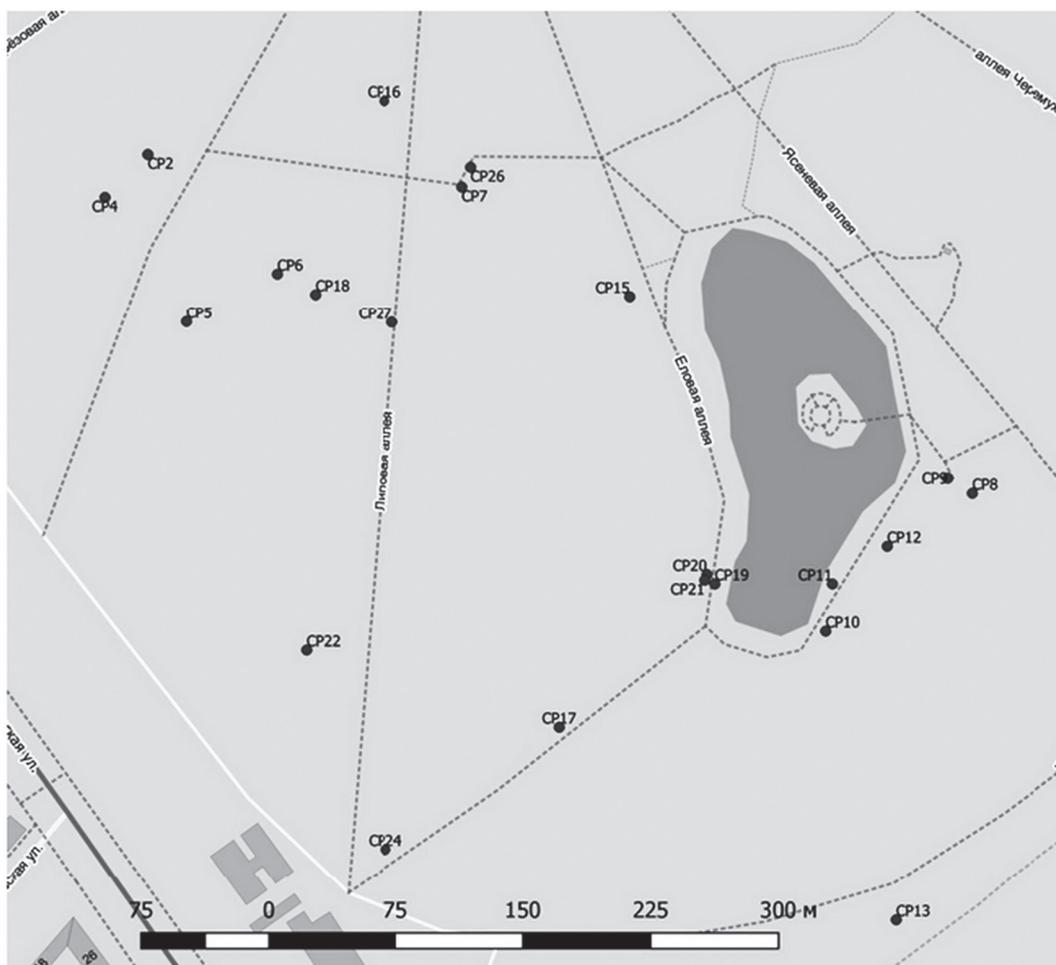


Рис. 1. Карта-схема расположения ценопопуляций (CP) на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси: CP1 – *Lunaria rediviva* L.; CP2 – *Hedera helix* L.; CP3 – *Hepatica nobilis* Mill.; CP4 – *Allium ursinum* L.; CP5 – *Lunaria rediviva* L.; CP6 – *Lilium martagon* L.; CP7 – *Tulipa sylvestris* L.; CP8 – *Allium ursinum* L.; CP9 – *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.; CP10 – *Astrantia major* L.; CP11 – *Iris sibirica* L.; CP12 – *Campanula latifolia* L.; CP13 – *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald; CP15 – *Vicia pisiformis* L.; CP16 – *Hedera helix* L.; CP17 – *Drymocallis rupestris* (L.) Sojk; CP18 – *Digitalis grandiflora* Mill.; CP19 – *Geranium phaeum* L.; CP20 – *Lunaria rediviva* L.; CP21 – *Astrantia major* L.; CP22 – *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem.; CP23 – *Clematis recta* L.; CP24 – *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald; CP25 – *Tulipa sylvestris* L.; CP26 – *Iris aphylla* L.; CP27 – *Epipactis helleborine* (L.) Crantz.

Fig. 1. Schematic map of the location of the coenopopulations (CP) on the territory of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus: CP1 – *Lunaria rediviva* L.; CP2 – *Hedera helix* L.; CP3 – *Hepatica nobilis* Mill.; CP4 – *Allium ursinum* L.; CP5 – *Lunaria rediviva* L.; CP6 – *Lilium martagon* L.; CP7 – *Tulipa sylvestris* L.; CP8 – *Allium ursinum* L.; CP9 – *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.; CP10 – *Astrantia major* L.; CP11 – *Iris sibirica* L.; CP12 – *Campanula latifolia* L.; CP13 – *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald; CP15 – *Vicia pisiformis* L.; CP16 – *Hedera helix* L.; CP17 – *Drymocallis rupestris* (L.) Sojk; CP18 – *Digitalis grandiflora* Mill.; CP19 – *Geranium phaeum* L.; CP20 – *Lunaria rediviva* L.; CP21 – *Astrantia major* L.; CP22 – *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem.; CP23 – *Clematis recta* L.; CP24 – *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald; CP25 – *Tulipa sylvestris* L.; CP26 – *Iris aphylla* L.; CP27 – *Epipactis helleborine* (L.) Crantz.

для формирования этих посадок был взят из коллекции редких и исчезающих растений природной флоры Беларуси и представлен генофондом отечественного происхождения (исключая CP16 и CP17). Материал представлял собой разновозрастные растения и генеративную диаспору для обеспечения почвенного банка. Виды CP13, CP15, CP17, CP18, CP22–CP25 высаживали в соответствии с принципом подобия биоценозов природным местам обитания, которые подбирали с помощью фитоиндикационных шкал: амплитудных – Цыганова [7] и точечных – Элленберга [8]. Все новые растения прижились, прошли характерные фенологические фазы и онтогенетические состояния и ушли на покой, завершив полный годовой цикл. В случае с *D. grandiflora* Mill. (CP18), *V. pisiformis* L. (CP15) и *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald (CP13) был недооценен световой режим

на протяжении сезона, и эти посадки нуждаются в коррекции (в переносе на более освещенные участки в пределах выбранных ценозов). Особенное пристальное внимание уделено процессам, происходящим на ЦП растений I категории охраны: *A. major* (CP21), *V. pisiformis* (CP15), *D. rupestris* (CP17), так как эти объекты могут в первую очередь участвовать в реконструкционных, репатриационных, транслокационных мероприятиях.

С 2014 г. проводятся также наблюдения за спонтанно возникшими ЦП для представления процесса естественного заселения синантропных фитоценозов редкими видами и развития их в таком растительном сообществе – *Epipactis helleborine* (L.) Crantz. (CP6) и *Lilium martagon* L. (CP27).

Ниже приводятся краткие описания проинвентаризированных в октябре 2016 г. искусственных ЦП на территории ЦБС НАН Беларуси.

Астранция большая – *Astrantia major* L. (I категория). Естественный ареал вида охватывает преимущественно горные районы Центральной Европы. Растет на лесных полянах, обочинах дорог в дубравах (с грабом), елово-сосновых и еловых лесах кисличного типа, реже на закустаренных мелкоосоково-злаково-разнотравных лугах. Ювенильный период продолжается 1–5 лет. Генеративная фаза наступает на 5-м году развития. Посадочный материал репродукции ЦБС от растений из Беловежской пуши (инв. № 261336). Материнская популяция сейчас находится в критическом состоянии, поэтому этот объект будет в приоритете при определении очередности реконструкционных мероприятий [9].

CP10 (WGS N53.91136, E027.61625). Высажена в 2013 г. одновозрастным клоном. Расположена в искусственном понижении на выкашиваемой луговине с избыточным увлажнением в весенний период. Расположение по горизонтали разреженное, равномерное. Онтогенетический базовый спектр не полный. Самосев не отмечается.

CP21 (WGS N53.91163, E027.61517). Высажена в 1999 г. Занимает экотонное положение на краю черноольса крапивного и низкотравного луга. Расположение по горизонтали – разреженное, случайное. Антропогенные нагрузки различаются по годам. Самосев отмечен, однако меньший, чем в условиях культуры в коллекции. Популяция развивается в сторону опушки, где не производится кошение.

Волжанка двудомная – *Aruncus dioicus* (Walter) Fernald (III категория). В 2016 г. был взят исходный материал из семян репродукции ЦБС (инв. № 268383) от растений, изъятых из природы (Минская обл., Столбцовский р-н). Возрастная структура не полная, представлена генеративными особями и почвенным банком семян. По данным Красной книги Республики Беларусь (ККРБ), волжанка лесная встречается преимущественно на Прибугской равнине (чаще в Беловежской пуше), на Новогрудской и Копыльской моренных грядках, а также в прилегающих к ним районах [10].

CP24 (WGS N53.91020, E027.61231). На первой площадке в дренажном углублении высажено 6 особей в шахматном порядке на расстоянии 2 м друг от друга. Условия увлажнения достаточные, освещение полное, с южной экспозицией. Почвы дерново-подзолистые глееватые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчанистых и песчанистых супесях, подстилаемых моренными связанными супесями на глубине 0,5 м.

CP13 (WGS N53.90982, E027.61688). Вторая площадка расположена в естественном руслообразном неглубоком понижении, под пологом широколиственных древесных пород в условиях сильного притенения на дерново-подзолистых глееватых супесчаных почвах, подстилаемых моренными суглинками на глубине 0,5 м.

Герань темная – *Geranium phaeum* L. (проф. охрана, LC). Заложена в 1999 г. материалом из семян растений из природы, репродукции ЦБС (инв. № 261352). По данным ККРБ, оставлена в Списке видов профилактической охраны 4-го издания как редкий «пограничный» опушечно-лугово-лесной декоративный вид, требующий внимания вне синантропных местообитаний.

CP19 (WGS N53.91161, E027.61526) – одна из самых успешно развивающихся искусственных ЦП в ЦБС. Представлена полноструктурным возрастным спектром, распространяется в юго-западном и западном направлениях, с востока ограничена дорожкой. Отмечен обильный самосев. Располагается на юго-западном краю озера, делит территорию с астранцией большой (CP21) и лунником оживающим (CP20). Занимает искусственное дренажное понижение с восточной

экспозицией. Почвы дерново-глебоватые, хорошо увлажненные, уплотненные. ЦП испытывает высокую степень антропогенных влияний – кошение, вытаптывание, сбор цветков.

Горошек гороховидный – *Vicia pisiformis* L. (I категория). В Беларуси представлен разрозненными локалитетами на северной границе ареала. В природе приурочен к опушкам и полянам широколиственных и широколиственно-сосновых лесов, а также производных от них березняков и осинников орлякового и кисличного типов (иногда на экотоне с сосняками). Встречается преимущественно по высоким склонам речных террас. Автомеханохор. Размножение семенное.

CP15 (WGS N53.91314, E027.61450). Создана в 2016 г. из материала природного происхождения (Могилевская обл., Быховский р-н) репродукции ЦБС (инв. № 268407). Расположена в секторе белорусской дендрофлоры, на границе сосняка и луга у северо-западного края озера. Почвы дерново-подзолистые глебоватые супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками на глубине 0,5 м. Увлажнение умеренное. Однако при посадке была недооценена плотность полога леса, поэтому условия освещения оказались недостаточными и растения в конце сезона выглядели угнетенными. В будущем посадки будут перенесены в более подходящее место. Популяция неполноценная, состоит из нескольких клонов (генет и их рамет). Создан почвенный банк семян.

Дремлик широколистный – *Eriopactis helleborine* (L.) Crantz. (проф. охрана, LC). Внесен в список профилактической охраны как опушечно-лесной декоративный вид, включен во II Приложение Конвенции СИТЕС. Охраняется в Польше и Украине.

CP27 (WGS N53.9130, E027.612373). Спонтанно развившаяся, наблюдаемая с 2004 г. ЦП вдоль обеих обочин дорожки липовой аллеи. Почвы – дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками. Антропогенная нагрузка незначительная, несмотря на близость к дорожно-тропиночной сети. Онтогенетическая структура полная.

Дримокаллис скальный – *Drymocallis rupestris* (L.) Sojka = *Potentilla rupestris* L. (I категория). Реликт, находящийся далеко за восточной границей ареала. В единственном местообитании в Беларуси представлен небольшим количеством особей, произрастающих на территории 2×30 м. Это опушка зеленомошного сосняка с дубом на нарушенном сухом склоне. В последующих репатриационных мероприятиях этот вид стоит в приоритете.

CP17 (WGS N53.91085, E027.61387). Создана в 2016 г. из семенного материала, полученного по делектусному обмену из Польши (Гданьск, Ботанический сад фармакологического факультета Медицинского университета, инв. № 250661). На опушке дубравы растения высажены зигзагообразной полосой, расстояние между объектами 50–70 см. Материал посадок сформирован из разновозрастных особей и почвенного банка семян. Рельеф плоский, увлажнение скудное. Почвы дерново-подзолистые глебоватые супесчаные, на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых моренными связанными супесями на глубине 0,5 м.

Касатик безлистный – *Iris aphylla* L. (I категория). Реликтовый лесостепной вид, встречающийся в Беларуси в изолированных локалитетах за северо-западной границей ареала. Впервые вид указан И. К. Пачоским для окрестностей г. п. Туров. В настоящее время в естественных местообитаниях достоверно известна одна популяция в Житковичском р-не Гомельской обл. Остепненные луга, опушки и поляны в дубравах и сосняках, зарослях кустарников; предпочитает освещенные места и умеренно влажные супесчаные нейтральные почвы. Размножение вегетативное, семян не завязывает.

CP26 (WGS N53.913828, E027.613078). Создана в 2013 г. группой, состоящей из клонов образца коллекции инв. № 267455 (Национальный парк «Припятский»). Почвы – дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками. Территория подвергается существенным антропогенным нагрузкам (вытаптывание, скашивание). Цветение единичное, плоды не завязываются. Отмечены следы угасания вегетативной активности и подвижности.

Касатик сибирский – *Iris sibirica* L. (IV категория). Бореальный вид, находящийся в Беларуси в пределах ареала. Спорадически встречается по всей республике, но преимущественно в южных и восточных районах.

СП11 (WGS N53.91161, E027.61631). ЦП, созданная в 2013 г., располагается на восточном берегу озера за дорожкой в искусственном понижении, на выкашиваемой луговине с весенним избыточным увлажнением, экспозиция – юго-западная, освещение полное. Антропогенная нагрузка существенная, самосева не отмечается. Почвы дерново-подзолистые глееватые, супесчаные, уплотненные. Возрастная структура неполная, представлена 10 клонами из вегетативной диаспоры образца коллекции инв. № 256948, происходящего из Могилевской обл., Кричевского р-на.

Колокольчик широколистный – *Campanula latifolia* L. (IV категория). Евросибирский вид. В Беларуси находится в пределах основного ареала. Однако большинство известных местонахождений сосредоточено в Витебской обл. Предпочитает влажные широколиственные, еловые и елово-широколиственные леса, сероольшаники и черноольшаники крапивного и снытевого типов по берегам лесных рек и ручьев.

СП12 (WGS N53.91181, E027.61680). В 2013 г. высажена из коллекционного семенного материала инв. № 269718 за линией, занимаемой **СП11** (ирисом сибирским), местообитание сходное. Популяция представляет собой вероятно только генеративную фракцию, так как самосев сложно учитывать из-за постоянного кошения территории.

Лилия кудреватая – *Lilium martagon* L. (IV категория). Реликтовый понтийско-сарматский вид, находящийся в Беларуси на северной границе европейского фрагмента ареала. Встречается спорадически во всех областях республики. В природе встречается в широколиственных и хвойно-широколиственных лесах. Предпочитает полутень и богатые гумусом почвы. Размножается как семенами, так и вегетативно (чешуйками луковиц). Энтомофил.

СП6 (WGS N53.913260, E027.611338). Спонтанно возникшая популяция, состоящая в основном из ювенильных особей. Располагается в глубине Сектора дендрофлоры Беларуси, недалеко от коллектора растительных отходов. Почвы дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчанистых и песчанистых супесях, подстилаемых моренными суглинками, с удовлетворительным увлажнением. Рельеф представлен микроповышением с северо-западной экспозицией. Освещение весьма скудное.

Ломонос прямой – *Clematis recta* L. (II категория). Это реликтовый вид в белорусской флоре, приурочен к местам обитания остепненного характера. Преимущественно семенное размножение этого вида представляет определенные сложности ввиду того, что существует физиологический лимит – у ломоноса прямого семени с недосформированным зародышем. Такой материал имеет низкую всхожесть, а доразвитие происходит только в определенных условиях. По мере созревания семян на коллекционных образцах их подсеивали на популяции. Микотрофное растение. Возрастная структура популяции неполная.

СП23 (WGS N53.91020, E027.61231). Сообразно с экотопами, в которых он растет в дикой природе, в 2016 г. нами подобрано место на возвышении у опушки широколиственных насаждений с преобладанием дуба. Материалом послужили клоны от 6 растений природного происхождения, выращиваемых в коллекции (инв. № 261363). Шесть заранее вегетативно размноженных образца были высажены в шахматном порядке на расстоянии 2 м. Почвы дерново-подзолистые глееватые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчанистых и песчанистых супесях, подстилаемых моренными связанными супесями на глубине 0,5 м. Освещение полное, экспозиция южная. Увлажнение скудное.

Лунник оживающий – *Lunaria rediviva* L. (IV категория). Пребореальный средневропейский неморальный вид, в Беларуси находится в островных участках произрастания. Встречается преимущественно в Минской области, на Минской возвышенности. Произрастает в основном в широколиственных (пойменные дубравы) и смешанных (елово-широколиственные) лесах. Энтомофил, анемохор. Размножение, как правило, семенное [10]. ЦП сформированы из коллекционного материала (инв. № 261344). Все три ЦП имеют возраст около 20 лет, развиваются успешно, так как вид находится в своем ареале и оптимальных почвенно-климатических условиях. Это растение в Беларуси имеет четкую приуроченность к ландшафтам моренных возвышенностей, высота над уровнем моря, вероятно, и является главным лимитирующим фактором. В условиях ЦБС лунник оживающий находится в пределах своего оптимума.

CP1 (WGS N53.913896, E 027.610181). Возрастная структура полная. На территории кошение не производится, но антропогенную нагрузку (вытаптывание, сбор семян) испытывает западная часть популяции. Фитоценоз представлен антропогенно-трансформированным сообществом. Развивается успешно, дает самосев. Почвы дерново-подзолистые супесчаные, на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками с глубины 0,2–0,4 м.

CP5 (WGS N53.913003, E 027.610526). Группа растений является спонтанным локалитетом **CP1** в грабовнике, который имеет тенденцию распространения вытянутым эллипсом в западном направлении. Антропогенного влияния не испытывает. Дает обильный самосев. Почвы дерново-подзолистые, временно избыточно увлажненные супесчаные, на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками с глубины 0,2–0,4 м.

CP20 (WGS N53.91166, E 027.61519). Возрастная структура полная, дает скудный самосев. Имеет экотонное расположение, представленное границей низкотравного луга и черноольшаником крапивным [10]. Почвы дерново-глебоватые, мощные супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками с глубины 0,3–0,4 м. Пространственно популяция распространяется в направлении к лесной опушке.

Медуница мягонькая – *Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem. (III категория). Бореально-подтаежный вид, в Беларуси обитает в изолированных локалитетах в широколиственных лесах.

CP 22 (WGS N53.91126, E027.61160). Расположена в грабовнике на умеренно влажных почвах, под пологом леса высажены разновозрастные растения. Сеянцы получены из отечественного материала, семена репродукции ЦБС (инв. № 268404, Минская обл., Молодечненский р-н). Почвы дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками. Рельеф плоский, увлажнение умеренное.

Наперстянка крупноцветковая – *Digitalis grandiflora* Mill. (проф. охрана, LC). Растение вырубок и опушек лиственных и смешанных лесов. Распространена повсеместно по территории Беларуси, ценное лекарственное и декоративное растение.

CP18 (WGS N53.91315, E027.61168). Для организации искусственной популяции с полной возрастной структурой в 2016 г. взяты разновозрастные сеянцы репродукции ЦБС из природного материала (инв. № 261371). Растения высажены на поляне концентрическими кругами на территории 100 м². Режим увлажнения умеренный. Рельеф плоский. Почвы дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками. Летние обследования территории показали, что был некорректно оценен световой режим – полог леса оказался очень плотным и растения выглядели угнетенными. В будущем эти посадки будут перенесены.

Печеночница благородная – *Hepatica nobilis* Mill. (проф. охрана, LC). Оставлена в Списке видов профилактической охраны 4-го издания ККРБ как «пограничный» лесной декоративный вид, требующий внимания.

CP3. ЦП создана в 1990-е годы, вероятно из коллекционного материала с инв. № 261365. Расположена на территории совместного произрастания с черемшой (**CP4**). Рельеф пологий, с СЗ экспозицией, почвы дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчаных и песчаных супесях, подстилаемых песками, гумусовый слой достаточно развитый и влажный. Условия освещения в период вегетации удовлетворительные, но впоследствии полог леса становится очень плотным. Популяция полновозрастная, с большой гетерогенностью по морфологическим признакам, имеет формы розово- и белоцветковую. Успешно проходит весь цикл развития, дает самосев.

Плющ обыкновенный – *Hedera helix* L. (II категория). Реликтовый, по происхождению пребореальный средневропейский горный вид, в Беларуси находится в островных участках произрастания и отдельных локалитетах на восточной границе ареала и за ее пределами. В природе произрастает в елово-широколиственных, широколиственных и еловых лесах. Размножается вегетативно [10]. Имеет особую наземную стерильную морфу с пятилопастным листом.

CP2 (WGS N53.913896, E027.610181). ЦП создана в 1990-е годы из коллекционного материала белорусского происхождения (инв. № 261338). Расположена в сосняке. Антропогенная нагрузка незначительная. В последние годы отмечено увеличение доли вертикального распространения до 4 м.

CP16 (WS N53.91418, E027.61230). Это самая старшая ЦП, она является продуктом слияния границ двух образцов дендрологической коллекции. Один образец интродуцирован из Ялты (инв. № 56079, 1957 г.), второй – из Батуми (инв. № 102466, 1964 г.). Произрастает в Секторе дендрофлоры Крыма и Кавказа. Почвы дерново-подзолистые, супесчаные на рыхлых пылевато-песчанистых и песчанистых супесях, подстилаемых песками с глубины 0,2–0,4 м, редко – карбонатными моренными суглинками с глубины 0,5–0,8 м, часто с прослойкой песка на контакте. Периодически происходит скашивание во время плановой уборки подлеска в секторе. Плющ доминирует в наземном покрове, по опорам поднимается на 3–4 м. В последние годы отмечено очень активное разрастание по всем направлениям.

Обе ЦП неполночленные, представлены исключительно прегенеративными особями. Из-за длительного периода произрастания и отсутствия маркировки не представляется возможным определить точное количество генет и рамет (нами осуществлялся глазомерный подсчет клонов). Горизонтальная структура случайная. Размножение вегетативное. За последние 7 лет отмечен подъем на опоры значительно выше уровня снега, что связано с повышением среднезимней температуры. Ранее восточная хорологическая граница совпадала с криоизотермой $-4,5$ °C [9]. Сегодня, по многолетним наблюдениям, изотерма сместилась в восточном направлении, что повлекло определенные хорологические и морфофизиологические изменения.

Страусник обыкновенный – *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. (проф. охрана, LC). Оставлен в Списке видов профилактической охраны 4-го издания ККРБ как довольно редкий «пограничный» болотно-луговой декоративный вид, требующий внимания. Размножение вегетативное.

CP9 (WGS N53.91217, E027.61734). Создана в 2010 г. из коллекционного материала белорусского происхождения (инв. № 261358), расположена на восточном берегу озера у беседки, выполняет исключительно декоративные функции. Почвы дерново-подзолистые, оглеенные снизу. Увлажнение умеренное, весной избыточное из-за водоупора. Освещение скудное, рельеф выровненный, с западной экспозицией. Вегетативно подвижна, но испытывает определенные антропогенные нагрузки, находясь в весьма посещаемом людьми месте. Количество клонов в описании указано примерное, так как при таком тесном произрастании сложно определить исходный генет.

Тюльпан лесной – *Tulipa sylvestris* L. (проф. охрана, LC). Фигурирует в списке видов профилактической охраны 4-го издания ККРБ как очень редкий высокодекоративный натурализовавшийся вид, требующий внимания. Растение имеет высокий потенциал как декоративное. Поздне-весенний эфемероид, размножение в ЦБС преимущественно вегетативное. Материалом для создания ЦП служил коллекционный образец инв. № 261357 белорусского происхождения.

CP7 (WGS N53.913723, E27.612999). Высажена в 2013 г. в неудачном месте (у дорожки рядом с опушкой березняка, где производилось кошение травостоя), поэтому подвергалась сильной антропогенной нагрузке. К моменту отрастания травы этот вид, являющийся поздним эфемероидом, не успевал отцвести, завязать семена и образовать замещающую луковицу. Почвы дерново-подзолистые песчанистые, очень уплотнены. Рельеф выровненный, увлажнение и освещение недостаточные.

CP25 (WGS N53.91526, E027.60996). В 2016 г. высадили из коллекционного материала около 50 растений полного возрастного спектра в вязовой роще сектора дендрофлоры Европы и Сибири, где кошение не производится. Почвы дерново-подзолистые, супесчаные, временно избыточно увлажненные на песках. Увлажнение достаточное. Рельеф ровный с СВ экспозицией. Успех посадок будет оценен в последующих сезонах.

Черемша, лук медвежий – *Allium ursinum* L. (III категория). Реликтовый средневропейский горный вид, находящийся на северо-восточной границе равнинной части ареала. Произрастает в тенистых широколиственных лесах снытевого типа, вблизи рек и ручьев, по окраинам болот и на облесенных островах среди болот. Предпочитает богатые гумусом свежие или влажные не кислые почвы и полутень. Является поздневесенним эфемероидом. Размножение семенное и вегетативное (путем образования дочерних луковиц) [10]. Возрастная структура популяций полная. Исходный материал посадок – коллекционный образец белорусского происхождения (инв. № 261335).

CP4 (WGS N53.913668, E027.609798). ЦП полночленная, развивается экстенсивно во все стороны по контактиозному типу. Растение ранний эфемероид, поэтому не испытывает конкуренции

со стороны других участников фитоценоза. Антропогенной нагрузки в этом месте практически нет, косыба и уборка подстилки не ведется.

CP8 (WGS N53.91209, E027.61756). Довольно молодая посадка (2009 г.). В месте произрастания рельеф выровненный, с едва заметным понижением, отмечено избыточное увлажнение из-за характера подстилающей породы. ЦП испытывает серьезную антропогенную нагрузку в виде вытаптывания и сбора молодых листьев. Виталитет слабый.

В сравнении с природными популяциями искусственные ЦП черемши имеют очень низкую плотность. Также отмечена сдержанность в развитии избыточных структур (дополнительных листьев), что является индикацией несоответствия экологических условий места произрастания [12].

Важным моментом в понимании перспектив развития искусственных ЦП является анализ их онтогенетических спектров.

Исключены из оценки посадки с исходной неполноценностью и неполным циклом годового развития из-за антропогенной нагрузки (**СРР7–СРР12**, **СРР026**) и ЦП видов с преобладанием вегетативного типа размножения и отсутствием генеративного (**СРР2**, **СРР7**, **СРР16**, **СРР26**). Онтогенетический спектр ЦП высаженных вегетативной диаспорой также не оценивался (**СРР13**, **СРР23**, **СРР24**), так как для таких посадок необходима иная модель оценки перспектив.

Подсчет особей в каждой ЦП проводился с разделением их на онтогенетические группы. Типы спектров принято выделять по положению максимума количества особей в возрастных группах и характеру кривой. На рис. 2 изображены базовые спектры некоторых искусственных ЦП. Были выделены три онтогенетических периода. В прегенеративном периоде учитывали три состояния: совместно считали ювенильные (**J**), имматурные (**IM**) и вергинильные (**V**) особи. Генеративный период обозначен общим кодом возрастного состояния (**G**), без выделения дробных состояний. Постгенеративный период отмечен кодом субсенильного возрастного состояния (**SS**).

По характеру кривой можно сделать вывод о равновесном состоянии популяции. Например: *a* – **СР21** (*A. major*) является двухвершинным из двух модальных групп прегенеративного и генеративного периодов, отличается полным отсутствием сенильных особей, что говорит о явном присутствии двух частей в популяции (старой и молодой) и динамической смене; *b* – **СР17** (*D. rupestris*) является примером хорошо сбалансированного одновершинного плавного рисунка (это признак нормальной полночленной ЦП); *c* – у **СР6** (*L. martagon*) смещенный левосторонний спектр, с преобладанием прегенеративных особей, что говорит о небольшом возрасте ЦП и определенном генеративном успехе (хотя количество G-особей в этой ЦП небольшое). Все ЦПП *L. rediviva* отличаются одновершинным симметричным спектром, что свидетельствует о полночленных, нормально развивающихся ЦП. В случае с *T. sylvestris* установлены два варианта ЦП: нормальная одновершинная популяция (**СР25**) и популяция с левосторонним типом распределения (**СР7**), у которой пик приходится на прегенеративный период и виргинильное состояние, что свидетельствует о высокой доле вегетативного размножения.

Онтогенетические спектры остальных искусственных ЦП являются одновершинными симметричными маркерами нормально-полночленных ЦП. Эти группы были созданы недавно, поэтому их анализ нами не проводился.

Кроме того, во время инвентаризации устойчивых, включившихся в фитоценозы ЦП были сняты мофологические параметры составляющих их особей. По этим параметрам был рассчитан индекс **IVI** (индекс виталитета особи). Далее, по методике Злобина, ранжированный с помощью индекса **IVI** ряд особей для каждой ЦП был разбит на три класса виталитета – высший (*a*), средний (*b*) и низший (*c*) [2]. Для установления виталитетного типа ценопопуляции использовали критерий **Q**:

процветающие ценопопуляции – $Q = 1/2(a + b) > c$;

равновесные ценопопуляции – $Q = 1/2(a + b) = c$;

депрессивные ценопопуляции – $Q = 1/2(a + b) < c$.

Из приведенных в таблице данных следует, что в настоящее время успешно развиваются все ЦП, кроме СР7 и СР8, которые долгое время испытывают угнетение и стрессовую нагрузку. Скорее всего, СР8 не имеет шансов на развитие (об этом говорит и онтогенетический спектр). В случае с СР7 большая доля вергинильных особей в ЦП дает надежду на выравнивание показателей

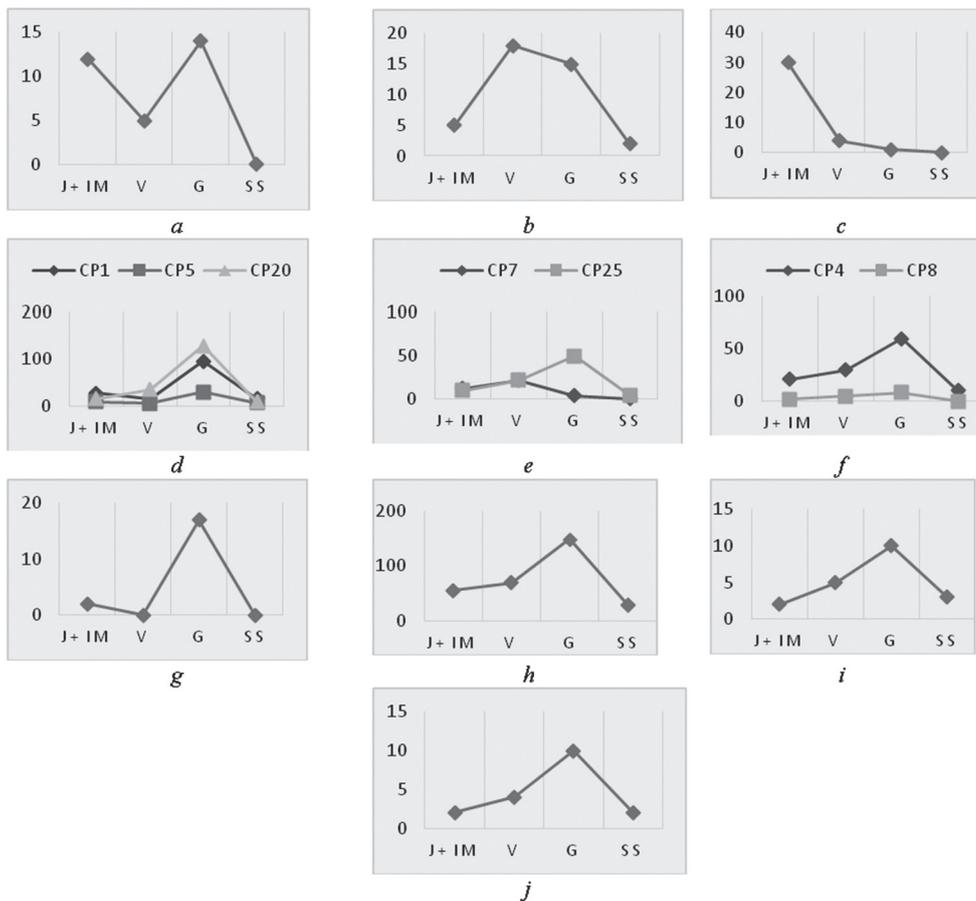


Рис. 2. Онтогенетические спектры искусственных ценопопуляций редких и исчезающих растений в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси: а – CP21 (*Astrantia major*); б – CP17 (*Drymocallis rupestris*); в – CP6 (*Lilium martagon*); д – CPP 1,5, 20 (*Lunaria rediviva*); е – CPP 7, 25 (*Tulipa sylvestris*); ф – CPP 4, 8 (*Allium ursinum*); г – CP3 (*Hepatica nobilis*); h – CP19 (*Geranium phaeum*); i – CP18 (*Digitalis grandiflora*); j – CP22 (*Pulmonaria mollis*)

Fig. 2. Ontogenetic spectra of artificial cenopopulations of rare and endangered plants in the Central Botanical Garden of NAS of Belarus: а – CP21 (*Astrantia major*); б – CP17 (*Drymocallis rupestris*); в – CP6 (*Lilium martagon*); д – CPP 1,5, 20 (*Lunaria rediviva*); е – CPP 7, 25 (*Tulipa sylvestris*); ф – CPP 4, 8 (*Allium ursinum*); г – CP3 (*Hepatica nobilis*); h – CP19 (*Geranium phaeum*); i – CP18 (*Digitalis grandiflora*); j – CP22 (*Pulmonaria mollis*)

Виталитетный тип искусственных ценопопуляций редких и исчезающих растений на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси
Vitality type of artificial cenopopulations of rare and endangered plant species on the territory of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus

Ценопопуляция	Доля особей по классам виталитета, %			Q-критерий	Виталитетный тип
	a	b	c		
CP1 <i>Lunaria rediviva</i>	62	23	15	42,5	Процветающий
CP2 <i>Hedera helix</i>	93	7	0	50	Процветающий
CP3 <i>Hepatica nobilis</i>	6	73	21	39,5	Процветающий
CP4 <i>Allium ursinum</i>	8	65	27	36,5	Процветающий
CP5 <i>Lunaria rediviva</i>	15	60	25	37,5	Процветающий
CP6 <i>Lilium martagon</i>	3	80	17	41,5	Процветающий
CP7 <i>Tulipa sylvestris</i>	0	38	62	19	Депрессивный
CP8 <i>Allium ursinum</i>	2	27	71	14,5	Депрессивный
CP16 <i>Hedera helix</i>	60	40	0	50	Процветающий
CP19 <i>Geranium phaeum</i>	24	53	13	38,5	Процветающий
CP20 <i>Lunaria rediviva</i>	15	70	25	42,5	Процветающий
CP21 <i>Astrantia major</i>	13	80	17	46,5	Процветающий
CP26 <i>Iris aphylla</i>	2	40	58	21	Процветающий
CP27 <i>Epipactis helleborine</i>	20	70	5	45	Процветающий

витаалітэта в перспектыве. Дальнейшыя назблюдзення за ЦП пазволяць уточніць онтогенетычныя спектры, вызначыць витаалітэтную структуру, ацаніць рэалізуюмую жыццёвую стратэгію і пабудавать мадэль развіцця групы раслін у вызначаным фітацэнозе.

Выводы

1. В экалагічнае поле і фітацэнозы Цэнтральнага ботанічнага сада НАН Беларусі ўключаны 26 (24 іскусственыя і 2 спонтанныя) ЦП рэдкіх і ісчэзаючых раслін.

2. За 20 лет існавання 9 ЦП ўспешна натуралізаваліся і развіваюцца па інвазійнаму тыпу, 7 ЦП існуюць у выглядзе непаўночных груп і іспытваюць антрапагенны прэс, 8 новых ЦП ўведзена ў фітацэнозы ЦБС, 2 спонтанныя ЦП ўключаны ў маніторынг.

3. Онтогенетычныя спектры ўсталяваўшыхся і спонтаных ЦП разлічаюцца ў залежнасці ад стадыі развіцця групы і асаблівасці жыццёвай стратэгіі.

4. Витаалітэтычны тып усіх ўключаных у фітацэнастычныя адносіны іскусствёных ЦП вызначаны як процветаючы. Значаны дзве ЦП дэпрэсывнага витаалітэтнага тыпа.

Спісок іспользаваных істочнікаў

1. Бученков, И. Э. Растительные ресурсы Беларуси, рациональное использование и охрана : краткий курс лекций / И. Э. Бученков ; М-во образования, Междунар. гос. экол. ун-т им. А. Д. Сахарова, Фак. экол. медицины, Каф. биологии человека и экологии. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2012. – 73 с.

2. Злобин, Ю. А. Популяция редких видов растений : теоретические основы и методика изучения : монография / Ю. А. Злобин, В. Г. Склиар, А. А. Клименко. – Сумы : Университет. кн., 2013. – 439 с.

3. Методы изучения ценопопуляций цветковых растений : учеб.-метод. пособие для магистров биол. фак. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Саратов. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского ; сост. А. С. Кашин, Т. А. Крицкая, Н. А. Петрова, И. В. Шилова. – Саратов, 2015. – 127 с.

4. Агеец, В. Ю. Почвы Центрального ботанического сада / В. Ю. Агеец, Г. В. Слободницкая, А. Н. Червань ; Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 84 с.

5. Лознухо, И. В. Испытание приемов репатриации редких видов флоры Беларуси / И. В. Лознухо // Ботанические сады: состояние и перспективы сохранения, изучения, использования биологического разнообразия растительного мира : тез. докл. Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию со дня основания Центр. ботан. сада, г. Минск, 30–31 мая 2002 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад (ЦБС), Нац. акад. наук Беларуси, Белорус. гос. пед. ун-т им. М. Танка ; редкол.: В. Н. Решетников (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2002. – С. 168–169.

6. Лознухо, И. В. Охраняемые растения флоры Беларуси / И. В. Лознухо // Биологическое разнообразие растений: его исследование, сохранение и использование в Республике Беларусь : сб. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад ; под ред. В. Н. Решетникова. – Минск, 2003. – С. 216–223.

7. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов ; Акад. наук СССР, Лаб. лесоведения. – М. : Наука, 1983. – 193 с.

8. Ellenberg, H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas / H. Ellenberg. – Gottingen : Goltze, 1974. – 97 S.

9. Парфенов, В. И. Редкие и исчезающие виды растений Белоруссии и Литвы / В. И. Парфенов, Лякавичюс А. А., Козловская Н. В. ; Акад. наук БССР, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича, Акад. наук ЛитССР, Ин-т ботаники. – Минск : Наука и техника, 1987. – 352 с.

10. Красная книга Республики Беларусь. Растения: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дико-растущих растений / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Нац. акад. наук Беларуси ; гл. редкол.: И. М. Качановский [и др.]. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 448 с.

11. Промышленные загрязнения, оценка состояния и оптимизация природной среды городских экосистем / Е. А. Сидорович [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Логинова ; Нац. акад. наук Беларуси, Центр. ботан. сад. – Минск : Беларус. навука, 2007. – 199 с.

12. Турмухамедова, Н. В. Экологическая характеристика некоторых видов растений / Н. В. Турмухамедова, Л. А. Жукова, Ю. А. Дорогова // Онтогенетический атлас растений. – Йошкар-Ола, 2013. – Т. 7. – С. 289–296.

References

1. Buchenkov I. E. Plant resources of Belarus, rational use and protection: a course of lectures. *Mezhdunarodnyi gosudarstvennyi ekologicheskii universitet imeni A. D. Sakharova* [International State Environmental University named after A. D. Sakharov], Minsk, 2012. 73 p. (in Russian).

2. Zlobin Iu. A., Skliar V. G., Klimenko A. A. *Population of rare species of plants: the theoretical foundations and methodology of the study*. Sumy, Universitetskaya kniga, 2013. 439 p. (in Russian).

3. *Methods of studying cenopopulations of flowering plants: a teaching aid for masters of the biological faculty*, compilers: A. S. Kashin, T. A. Kritskaia, N. A. Petrova, I. V. Shilova, Ministerstvo obrazovaniia i nauki Rossiiskoi Federatsii, Saratovskii gosudarstvennyi universitet imeni N. G. Chernyshevskogo [Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky]. Saratov, 2015. 127 p. (in Russian).

4. Ageets V. Iu., Slobodnitskaia G. V., Chervan' A. N. The soils of the Central Botanical Garden. *Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Tsentral'nyi botanicheskii sad* [National Academy of Sciences of Belarus, Central Botanical Garden]. *Informatsionno-vyislitel'nyi tsentr Ministerstva finansov* [Central Computing Center of the Ministry of Finance], Minsk, 2013. 84 p. (in Russian).

5. Loznukho I. V. Test methods of repatriation of rare species of flora Belarus. *Botanicheskie sady: sostoianie i perspektivy sokhraneniia, izucheniia, ispol'zovaniia biologicheskogo raznoobraziia rastitel'nogo mira : tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posviashchennoi 70-letiiu so dnia osnovaniia Tsentral'nogo botanicheskogo sada* [Botanical gardens: state and perspectives of conservation, study, use of the biological diversity of flora: abstracts of the International Scientific Conference dedicated to the 70th anniversary of the foundation Central Botanical Garden]. *Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Tsentral'nyi botanicheskii sad (TsBS) Natsionalnoi akademii nauk Belarusi, Belorusskii gosudarstvennyi pedagogicheskii universitet imeni M. Tanka* [National Academy of Sciences of Belarus, Central Botanical Garden (CLS) of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian State Pedagogical University named after M. Tank], in Reshetnikov V. N. (ed.) [et al.]. Minsk, 2002, pp. 168–169. (in Russian).

6. Loznukho I. V. Protected plants of the flora of Belarus. *Biologicheskoe raznoobrazie rastenii: ego issledovanie, sokhranenie i ispol'zovanie v Respublike Belarus' : sbornik trudov* [Biological diversity of plants: its research, preservation and use in the Republic of Belarus: a collection of works] ; in Reshetnikov V. N. (ed.). Minsk, 2003, pp. 216–223. (in Russian).

7. Tsyganov D. N. Phytoidication of ecological regimes in the subzone of coniferous-broad-leaved forests. *Akademiia nauk SSSR, Laboratoriia lesovedeniia* [Academy of Sciences of the USSR, Laboratory of Forest Science]. Moscow, Nauka [Science], 1983. 193 p. (in Russian).

8. Ellenberg H. *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas*. Gottingen, Goltze, 1974. 97 p. doi: 10.1002/fedr.19760870115.

9. Parfenov V. I., Liakavichius A. A., Kozlovskaiia N. V. Rare and endangered plant species of Belarus and Lithuania. *Akademiia nauk BSSR, Institut eksperimental'noi botaniki imeni V. F. Kuprevicha, Akademiia nauk LitSSR, Institut botaniki* [Academy of Sciences of the BSSR, Institute of Experimental Botany named after VF Kuprevich, Academy of Sciences of the Lithuanian SSR, Institute of Botany]. Minsk, Nauka i tekhnika [Science and Technology], 1987. 352 p. (in Russian).

10. The Red Book of the Republic of Belarus. Plants: rare and endangered species of wild plants. *Ministerstvo prirodnnykh resursov i okhrany okruzhaiushchi sredy Respubliki Belarus', Natsional'naia akademiia nauk Belarusi* [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, National Academy of Sciences of Belarus], in Kachanovsky I. M. (ed.) [et al.]. Minsk, Belaruskaia entsyklapediia imia P. Brouki [The Belarusian encyclopedia named after P. Brouki], 2015. 448 p. (in Russian).

11. Sidorovich E. A., Sergeichik S. A., Iakovlev A. P., Arabei N. M., Shobanova I. A., Sergeichik A. A. Industrial pollution, assessment of the state and optimization of the natural environment of urban ecosystems, under the general editorship of V. F. Loginov ; *Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Tsentral'nyi botanicheskii sad* [National Academy of Sciences of Belarus, Central Botanical Garden]. Minsk, Belaruskaia navuka [Belarusian science], 2007. 199 p. (in Russian).

12. Turmukhamedova N. V., Zhukova L. A., Dorogova Yu. A. Ecological characteristics of some plant species. *Ontogenicheskii atlas rastenii* [Ontogenetic plant atlas]. Yoshkar-Ola, 2013, vol. 7, pp. 289–296. (in Russian).

Информация об авторах

Кручонок Аlesia Владимировна – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: A.Kruchonok@cbg.org.by.

Бедуленко Марина Анатольевна – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: M.Bedulenko@cbg.org.by.

Аношенко Борис Юрьевич – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: B.Anoshenko@cbg.org.by.

Титок Владимир Владимирович – чл.-кор., д-р биол. наук, директор. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Titok@cbg.org.by.

Information about the authors

Alesia V. Kruchonok – Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: A.Kruchonok@cbg.org.by.

Marina A. Bedulenko – Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: M.Bedulenko@cbg.org.by.

Boris Yu. Anoshenko – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: B.Anoshenko@cbg.org.by.

Vladimir V. Titok – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), director. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Titok@cbg.org.by.

Для цитирования

Искусственные ценопопуляции редких и исчезающих видов белорусской флоры на территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси / А. В. Кручонок [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 32–44.

For citation

Kruchonok A. V., Bedulenko M. A., Anoshenko B. Yu., Titok V. V. Artificial cenopopulations of rare and endangered Belarusian flora species in the Central Botanical Garden of NAS of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 32–44.

ISSN 1029-8940 (print)
УДК 634.723.1:575.174.015.3

Поступила в редакцию 02.05.2015
Received 02.05.2015

О. А. Межнина, О. Ю. Урбанович

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА СМОРОДИНЫ (*RIBES* L.), ВЫРАЩИВАЕМЫХ В БЕЛАРУСИ

С помощью 8 SSR-маркеров изучено генетическое разнообразие 86 представителей рода *Ribes*, выращиваемых в Республике Беларусь. Показано, что сорта смородины черной, смородины красной и крыжовника обыкновенного, выращиваемые в Республике Беларусь, характеризуются достаточно высоким разнообразием аллелей локусов микросателлитных последовательностей. Среднее количество аллелей на локус среди 86 образцов составило 12,1, среднее количество уникальных генотипов в расчете на маркер – 26,4. Значение дискриминационной силы для всех маркеров высокое (в среднем – 0,8). Образцы, относящиеся к разным видам, формируют отдельные кластеры на дендрограмме филогенетического сходства. Генетически наиболее близки смородине черной йоста, смородина золотистая, смородина альпийская. На большем генетическом расстоянии находится смородина красная. Сорта крыжовника формируют кластер, наиболее отдаленный от видов смородины. Анализ распределения аллелей показал, что сорта смородины красной и крыжовника обыкновенного имеют отличные от сортов смородины черной SSR-аллели по исследованным локусам микросателлитных последовательностей. Число аллелей, встречающихся только у сортов смородины красной и крыжовника обыкновенного, варьировалось от 1 (локусы *g2-G12*, *g1-M0*) до 5 (локус *E4D03*). На основании анализа полиморфизма SSR-локусов сформирован набор из 8 маркеров, позволяющий проводить ДНК-идентификацию генотипов представителей рода *Ribes*. При выборе набора учтен уровень информативности каждого маркера, частота встречаемости аллелей, выявляемых данным набором маркеров у сортов, а также удобство визуализации и анализа продуктов амплификации. Метод SSR-анализа с использованием указанного набора маркеров может успешно применяться для идентификации смородины черной, смородины красной и крыжовника обыкновенного на молекулярном уровне.

Ключевые слова: смородина черная, смородина красная, крыжовник, SSR-маркеры, генетическое разнообразие, ДНК-идентификация.

O. A. Mezhnina, O. Yu. Urbanovich

Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ANALYSIS OF MICROSATELLITE LOCI VARIABILITY *RIBES* L. REPRESENTATIVES GROWN IN BELARUS

The study of the genetic diversity of 86 representatives of the genus *Ribes* cultivated in Belarus using 8 SSR markers was held. It is shown that the varieties of black currant, red currant and gooseberry grown in Belarus, is characterized by high diversity of microsatellite loci. The average number of alleles per locus among the 86 samples was 12.1. The average number of unique genotypes per marker was 26.4. The value of discriminatory power for all markers was high with average number 0.8. Samples belonging to different species formed distinct clusters in the dendrogram of phylogenetic similarity. Genetically closest to black currant were josta, Golden currant, Alpine currant. At a greater genetic distance were red currants. Varieties of gooseberries form a cluster that is most distant from currant species. Analysis of alleles distribution at the investigated loci of microsatellite sequences revealed that red currant and gooseberry varieties have different SSR-alleles from black currant varieties. The number of alleles detected only for red currant and gooseberry varieties ranged from 1 (loci *g2-G12*, *g1-M0*) to 5 (locus *E4D03*). Based on the analysis of SSR-locus polymorphism, a set of 8 markers was generated that allow DNA-identification of *Ribes* genotypes. For selection the set of markers the level of information value for each marker, the frequency of alleles occurrence and convenience of visualization and analysis of amplification products were taken into account. The method of SSR-analysis with using specified set of markers can be successfully applied for identification of black currant, red currant and gooseberry varieties at the molecular level.

Keywords: black currant, redcurrant, gooseberry SSR-markers, genetic variability, DNA-identification.

Введение. Род смородина (*Ribes*) включает более 150 видов, распространенных в умеренных широтах Восточной и Северной Европы, Северной Америки, некоторые виды произрастают в Южной Америке и Северо-Восточной Африке [1, 2]. На территории СНГ в диком виде встречается около 37 видов, наиболее распространенными из которых являются смородина черная

(*Ribes nigrum* L.), смородина колосистая (*Ribes spicatum* Robson (*R. Pubescens* (C. Hart.) Hedl.)), смородина альпийская (*Ribes alpinum* L.), смородина светлая (*Ribes lucidum* Kit), смородина красная (*Ribes rubrum* L.), смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh). Ранее род *Ribes* в систематической классификации относился к семейству Камнеломковые (*Saxifragaceae*), в настоящее время род смородина относится к семейству Крыжовниковые (*Grossulariaceae*) [3, 4].

Все виды *Ribes* имеют диплоидный геном, представленный 8 парами хромосом ($2n = 2x = 16$). Размер генома, определенный с помощью проточной цитометрии, для *Ribes petraeum* Wulf., *Ribes rubrum* L., *Ribes uva-crispa* L. в среднем составляет $2C = 1,91$ пг, содержание GC-пар – 40,4 % [5]. Для изучения генетического разнообразия смородины черной предложены молекулярные маркеры различных типов. В 2000 г. проведено исследование 12 представителей рода *Ribes* с использованием 180 RAPD и 151 ISSR-маркера. В данной работе показан высокий генетический полиморфизм изученных образцов [6]. Простота генерирования RAPD-маркеров позволяет использовать их для идентификации и дифференциации различных видов даже при отсутствии информации об их геноме [7–11]. Недостатком метода является необходимость использования высокоочищенной ДНК, поскольку применение коротких случайных праймеров может приводить к амплификации фрагментов различных организмов [12]. В 2002 г. исследование генотипов земляники садовой (*Fragaria x ananassa*), яблони (*Malus domestica*) и представителей рода *Ribes* (*R. nigrum*, *R. rubrum* и *R. grossularia*) с помощью RAPD и ISSR-маркеров показало, что значения генетического сходства при использовании ISSR-маркеров значительно выше, чем при использовании RAPD-маркеров. Так, данные, полученные с помощью ISSR-маркеров, позволили выявить группу представителей рода *Ribes* ('Greenfinch', 'Rolonda', 'Martlet', 'Hinomaki Rot', 'Karpaty', 'Niesluchowski'), имеющих степень генетического родства 85–95 %, в то время как при применении RAPD-маркеров выявлялась значительно меньшая степень генетического сходства (45–65 %) [13]. В 1999 г. с помощью RAPD-, ISSR- и AFLP-маркеров изучено генетическое разнообразие *Ribes grossularia*. Использование AFLP-маркеров позволило получить уникальный генетический профиль каждого из 20 образцов, в то время как с помощью RAPD, ISSR-маркеров невозможно было разделить генетически сходные сорта [14]. Необходимо отметить, что система идентификации с неспецифическими (RAPD) праймерами имеет определенные проблемы с воспроизводимостью в различных лабораториях. Этому недостатка лишены SSR-маркеры. Результаты, полученные с их помощью, легко интерпретируются и воспроизводятся. Помимо этого, микросателлитные маркеры наследуются по кодоминантному принципу и поэтому получили широкое применение при картировании генома и анализе генетической структуры популяции [15].

В 2002 г. Brennan [16] предложены 11 SSR-маркеров, которые при анализе преимущественно европейских сортов смородины черной, а также *R. dikuscha*, *R. nevadense*, *R. sanguineum*, *R. cereum*, *R. petraeum*, *R. grossularia* и двух межвидовых гибридов позволили выявить от 2 до 18 аллелей на locus, дискриминационная сила маркеров варьировалась от 0,18 до 0,91. В 2009 г. при анализе 41 сорта, принадлежащего к 4 различным видам рода *Ribes* (*Ribes nigrum*, *Ribes rubrum*, *Ribes missouriense* и *Ribes* × *nidigrolaria*), с использованием 12 SSR-маркеров выявлено 38 различных генотипов, от 7 до 15 аллелей на locus (в среднем 10,4) [17]. Данные о количестве обнаруженных аллелей на locus коррелируют со значениями, полученными при изучении других культур. Так, при исследовании генетического полиморфизма 36 сортов яблони для 9 SSR-маркеров данный показатель составил 10,9 аллелей на locus [18], при исследовании 78 генотипов фундука с использованием 16 SSR-маркеров – 9,4 [19], для представителей рода *Rubus* – 8,2 [20], для малины обыкновенной – 8,0 [21]. В 2013 г. L. Palmeri с соавт. [22] при исследовании 91 образца рода *Ribes* (включая *R. nigrum*, *R. rubrum*, *R. niveum*, *Ribes* × *nidigrolaria*) с использованием 10 SSR-маркеров смогли выявить 87 уникальных генотипов. Данная работа показала, что даже небольшое количество SSR-маркеров может эффективно применяться для изучения генетического разнообразия смородины черной. Проведенный анализ литературных данных показывает, что за последние годы получены новые сведения о структуре и организации генома ягодных культур рода *Ribes*, с помощью современных молекулярно-генетических методов уточнены схемы классификации и филогенетического происхождения многих видов. Вместе с тем имеются публикации о исследовании отдельных сортов зарубежной селекции, однако генетическое раз-

нообразии ягодных культур, выращиваемых на территории Беларуси, не изучалось. Отсутствует информация о генетическом потенциале как современных, так и стародавних сортов данного региона, не установлено, какие наборы маркеров позволяют эффективно их дифференцировать и идентифицировать. Изучение генетического разнообразия генофонда ягодных культур, выращиваемых на территории Беларуси, поможет выявить и сохранить уникальные генетические ресурсы, выделить генотипы, являющиеся ценными для селекционного процесса, уточнить родственные связи сортов, а также систематизировать коллекционный материал.

Цель данного исследования – изучение генетического разнообразия представителей рода *Ribes*, культивируемых в Республике Беларусь, и анализ эволюционных связей между видами.

Материалы и методы исследования. С целью молекулярного анализа была сформирована коллекция сортов и образцов представителей рода *Ribes*. Материал предоставлен Республиканским научно-производственным дочерним унитарным предприятием «Институт плодоводства» и фермерскими хозяйствами. Коллекция включала сорта, имеющие различное генетическое происхождение. Среди них сорта селекции Беларуси, России, Украины, Швеции, Литвы и других стран. В общей сложности в коллекции было представлено 63 сорта смородины черной (*Ribes nigrum* L. ($2n = 16$)), 11 сортов крыжовника обыкновенного (*Ribes uva-crispa* L. ($2n = 16$)), 9 сортов смородины красной (*Ribes rubrum* L. ($2n = 16$)), а также по 1 образцу смородины альпийской (*Ribes alpinum*) и смородины золотистой (*Ribes aureum*) и йошты (*Ribes* × *nidigrolaria*), являющейся гибридом смородины черной, крыжовника обыкновенного и крыжовника растопыренного.

Выделение тотальной ДНК из фрагмента листа отдельного растения осуществляли с помощью набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo scientific, EC), согласно методике производителя.

Для анализа полиморфизма по SSR-маркерам использовали мультиплексную ПЦР с 4 парами праймеров в одной реакции. Каждая пара имела специфическую флуоресцентную метку (FAM, R6G, TAMRA, ROX). В исследовании использовали SSR-маркеры, специфичные для генома *Ribes* L. Название SSR-маркеров, длина и количество выявляемых аллелей и их локализация в геноме приведены в табл. 1. Праймеры синтезированы компанией «Праймтех» (Беларусь).

Т а б л и ц а 1. Название SSR-маркеров, длина и количество выявляемых аллелей и их локализация в геноме

Table 1. The name of the SSR markers, the length and number of detected alleles and their localization in the genome

Локус	Размер аллеля, п. н.	К-во аллелей	Хромосома
<i>g1-E03</i>	207, 223, 228, 230, 233, 236, 239, 241, 243, 247, 254, 262, 270, 280, 298	15	1
<i>g2-G12</i>	165, 167, 171, 173, 177, 179, 181, 183, 185, 187, 189, 191	12	7
<i>e1-001</i>	138, 140, 142, 144, 146, 148, 150, 152, 154, 160, 166	11	6
<i>g1-M07</i>	200, 202, 204, 206, 208, 210, 212, 214, 220, 226, 230	11	1
<i>g1-A01</i>	209, 211, 213, 217, 219, 223, 230, 234, 241, 245, 256	11	5
<i>g1-K04</i>	272, 284, 286, 288, 292, 294, 296, 298, 300, 302	10	1
<i>e3-B02</i>	151, 153, 159, 161, 163, 166, 168, 170, 183	9	5
<i>e4-D03</i>	170, 176, 179, 184, 192, 196, 198, 200, 202, 204, 206, 208, 210, 212, 214, 218, 220, 226	18	5

Разделение фрагментов ПЦР выполняли на генетическом анализаторе 3500 Genetic Analyzer (Applied Biosystems, США). Размер фрагментов рассчитывали с помощью компьютерной программы GeneMapper® Software v4.1 относительно стандартных образцов ДНК известной длины. В качестве стандарта молекулярного веса использовали внутренний стандарт S450 («Синтол», РФ).

Расчет частоты аллелей, построение филогенетического дерева с помощью метода ближайших соседей (Neighbor-joining) на основе генетических дистанций между сортами, рассчитанных по формуле, предложенной М. Nei [23], и бутстреп-анализ (Bootstrap analysis) осуществлены при помощи компьютерной программы Treecon [24].

Значение уровня ожидаемой гетерозиготности вычисляли по формуле $H_e = 1 - \sum(p_i)^2$, где p_i – частота встречаемости i -го аллеля [25].

Уровень наблюдаемой гетерозиготности H_o рассчитывали как отношение гетерозиготных генотипов к общему количеству генотипов.

Число эффективных аллелей (N_e) определяли по формуле $N_e = 1/(1 - H_e)$.

Индекс Райта (F) (Wright's fixation index) вычисляли по формуле $F = 1 - H_o/H_e$ [26].

Дискриминационную силу маркера (PD) рассчитывали по формуле $PD = 1 - \sum(g_i)^2$, где g_i – частота встречаемости i -го генотипа [27].

Результаты и их обсуждение. Состав аллелей локусов микросателлитных последовательностей определяли для 86 представителей рода *Ribes* с помощью 8 SSR-маркеров, охватывающих разные участки генома *Ribes nigrum*. Наименее полиморфными оказались локусы *e3-B02* и *gl-K04*. Количество обнаруженных в них аллелей составило 9 и 10 соответственно. В локусах *e1-001*, *gl-M07* и *gl-A01* выявлено одинаковое количество аллелей – 11. В локусах *g2-G12* и *gl-E03* обна-

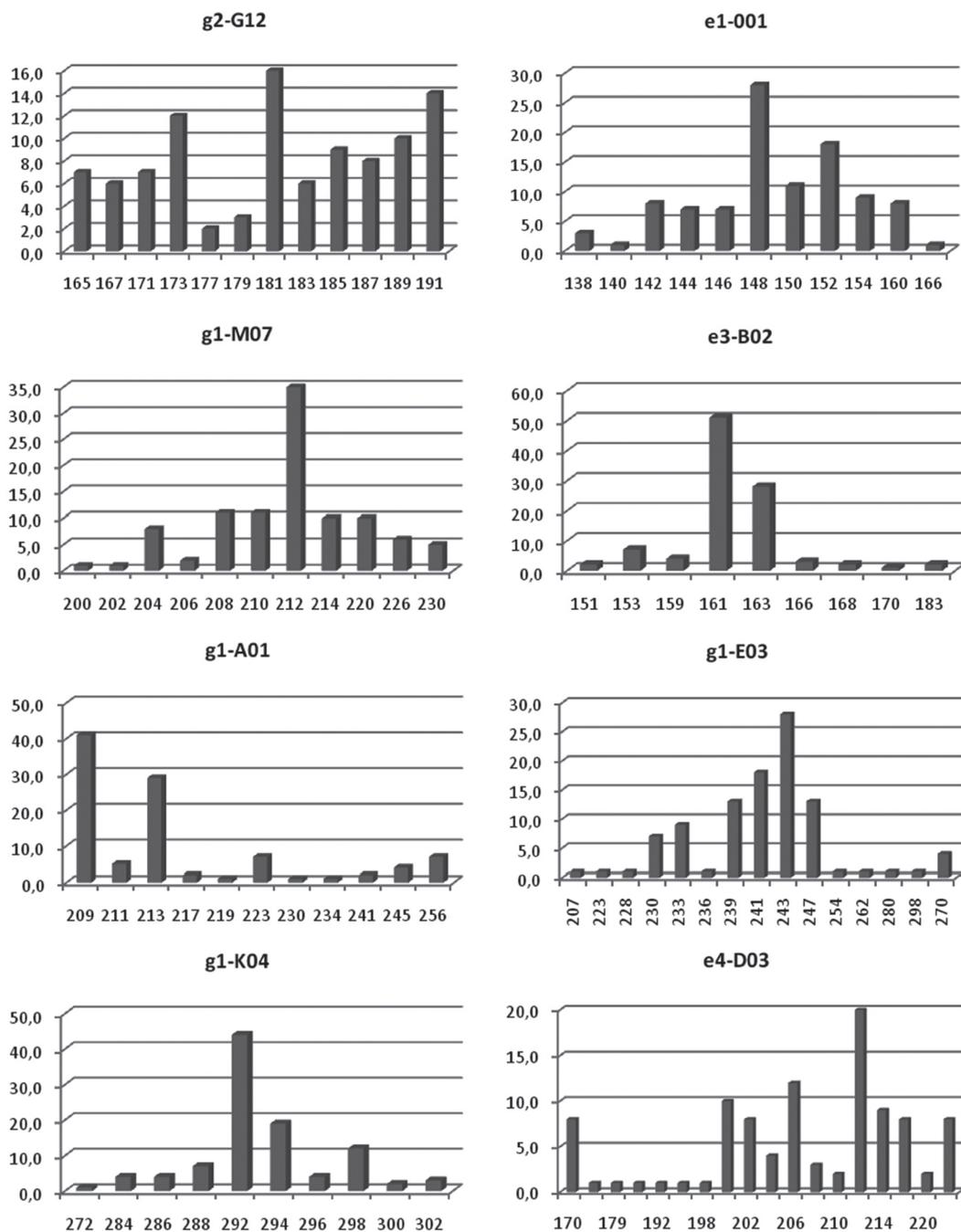


Рис. 1. Аллели локусов *g2-G12*, *e1-001*, *gl-M07*, *e3-B02*, *gl-A01*, *gl-E03*, *gl-K04* (ось X, п. н.), и их частота встречаемости (ось Y, %), среди 86 генотипов представителей рода *Ribes*

Fig. 1. Alleles of loci *g2-G12*, *e1-001*, *gl-M07*, *e3-B02*, *gl-A01*, *gl-E03*, *gl-K04* (X-axis, bp) and their frequency of occurrence (Y-axis, %), among 86 genotypes of *Ribes* representatives

ружено 12 и 15 аллелей соответственно. Максимальное количество аллелей выявлено в локусе *e4-D03* – 18 (табл. 1). В общей сложности среди 86 представителей рода *Ribes* с использованием 8 SSR-маркеров выявлено 97 полиморфных аллелей. Среднее значение количества аллелей на locus составило 12,1. Этот же показатель среди европейских представителей рода *Ribes*, определенный с использованием 11 SSR-маркеров, составил 10,4 [28]. Среднее количество аллелей на locus, определенное с помощью 14 маркеров для 27 образцов смородины черной из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК), составило 4,9 [29]. Таким образом, выбранный в данном исследовании набор маркеров характеризуется высоким уровнем полиморфизма. Для каждого локуса определялись длина аллелей у конкретного сорта и количество полиморфных фрагментов. Частота встречаемости аллелей среди исследованных образцов представлена на рис. 1.

Как видно на рис. 1, в целом для всех маркеров характерны аллели со средней частотой встречаемости. Тем не менее, среди 86 образцов выявлено 33 редких аллеля (у 2 % образцов и менее). В зависимости от маркера количество редких аллелей составило от 1 до 8. Основным источником редких аллелей являлись сорта крыжовника и смородины красной, что обусловлено их генетической удаленностью от сортов смородины черной. Для отдельных аллелей отмечена высокая частота встречаемости. Так, в локусе *g1-M07* аллель длиной 212 п. н. встречался у 35 % образцов, в локусе *e3-B02* аллель длиной 161 п. н. обнаружен в геноме у 51 % образцов, в локусе *g1-A01* аллели 209 и 213 п. н. выявлены у 41 и 29 % образцов соответственно, в локусе *g1-K04* аллель длиной 292 п. н. встречался у 44 % образцов.

Результаты расчета количества и размера аллелей, количества и доли уникальных генотипов, уровня ожидаемой (H_e) и наблюдаемой (H_o) гетерозиготности, числа эффективных аллелей (N_e), индексы Райта (F), дискриминационной силы маркеров (PD), которые были рассчитаны для 86 представителей рода *Ribes*, представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Аллели микросателлитных локусов, количество и доля уникальных генотипов, уровень ожидаемой (H_e) и наблюдаемой (H_o) гетерозиготности, число эффективных аллелей (N_e), индексы Райта (F), дискриминационная сила маркера (PD) 86 представителей рода *Ribes*

Table 2. Alleles of microsatellite loci, the number and proportion of unique genotypes, the level of expected (H_e) and observed (H_o) heterozygosity, the number of effective alleles (N_e), Wright's index (F), the discrimination power of markers (PD) for 86 *Ribes* representatives

SSR-маркер	Варьирование размера фрагментов амплификации, п. н.	К-во аллелей	К-во уникальных генотипов	Доля уникальных генотипов, %	H_e	H_o	N_e	F	PD
<i>g2-G12</i>	167–191	12	34	0,4	0,898	0,709	9,8	0,21	0,90
<i>e1-001</i>	144–166	11	25	0,3	0,849	0,849	6,6	0,00	0,85
<i>g1-M07</i>	200–230	11	29	0,34	0,820	0,698	5,6	0,15	0,82
<i>e3-B02</i>	161–183	9	15	0,17	0,653	0,558	2,9	0,15	0,64
<i>g1-A01</i>	209–213	11	17	0,2	0,733	0,593	3,7	0,19	0,73
<i>g1-E03</i>	233–270	15	30	0,35	0,840	0,651	6,3	0,23	0,84
<i>g1-K04</i>	284–300	10	24	0,28	0,745	0,558	3,9	0,25	0,74
<i>E4D03</i>	200–226	18	37	0,43	0,898	0,756	9,8	0,16	0,89
Среднее значение		12,1	26,4	0,3	0,801	0,672	6,1	0,12	0,80

Уровень ожидаемой гетерозиготности варьировался от 0,653 до 0,898, среднее значение H_e – 0,801. Значение уровня наблюдаемой гетерозиготности (H_o) для исследованной выборки варьировалось от 0,558 для маркеров *e3-B02* и *g1-K04* до 0,849 для маркера *e1-001* и в среднем составило 0,672. Значение числа эффективных аллелей (N_e) составило от 2,9 для маркера *e3-B02* до 9,8 для маркеров *g2-G12* и *E4D03*. Среднее значение для всех маркеров составило 4,3. При этом выборка включала как генетически отдаленные сорта, так и имеющие общее происхождение. Для сравнения: при исследовании сортов смородины черной селекции ВНИИСПК с использованием 14 SSR-маркеров среднее значение H_e для выборки из 27 сортов составило 0,608 [20]. В исследованиях Savanna с соавт. [21] с использованием 11 SSR-маркеров среднее значение H_o

для 41 представителя рода *Ribes* составило 0,596. Полученные в настоящем исследовании данные свидетельствуют о достаточно высокой степени гетерозиготности представителей рода *Ribes*, произрастающих в Беларуси.

Маркер *E4D03* позволил выявить максимальное количество уникальных генотипов среди сортов смородины черной – 37. Минимальное количество генотипов выявлено при использовании маркеров *e3-B02* и *gl-A01* – 15 и 17 соответственно. Среднее значение количества уникальных генотипов для 8 маркеров составило 26,4. Дискриминационная сила маркеров достаточно высокая – от 0,64 для маркера *e3-B02* до 0,9 для маркера *g2-G12*, среднее значение *PD* для 8 маркеров составило 0,8, что говорит о высокой диагностической ценности отобранных SSR-маркеров.

На основе рассчитанных генетических дистанций между сортами проведен кластерный анализ и сформировано единое консенсусное дерево, в каждом узле которого указан процент поддержки данного кластера (рис. 2). Как видно из представленной дендрограммы, все сорта отличаются друг от друга на генетическом уровне и имеют уникальный состав аллелей в локусах микросателлитных последовательностей. Генетические расстояния между образцами колеблются в пределах от 0,08 до 0,84.

В консенсусном дереве можно выделить несколько кластеров. На большом генетическом расстоянии находятся и образуют два отдельных кластера с высокими значениями бутстреп-поддержки сорта крыжовника обыкновенного (Неслуховский, Машека, Хиннонмаен пунайнен, Садко, Зеленый дождь. Малахит, Карпаты, Северный капитан, Кубанец, Краснославянский и Куршу Дзинтарс) и смородины красной (Ютерборгская, Голландская красная, Рондом, Смольяниновская, Белая Потапенко, Натали, Виксна, Йонкер ван Тетс, Красная Андрейченко). Анализ распределения аллелей среди исследованных образцов показал, что по исследованным локусам микросателлитных последовательностей сорта смородины красной и крыжовника обыкновенного имеют отличные от сортов смородины черной SSR-аллели (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Аллели, идентифицированные с помощью SSR-анализа в сортах смородины черной, смородины красной и крыжовника обыкновенного

Table 3. Alleles identified with using SSR-analysis for *Ribes nigrum*, *Ribes rubrum* and *Ribes uva-crispa* varieties

SSR-маркер	Детектируемые аллели (п. н.) в геноме представителей рода <i>Ribes</i> L.		
	Сорта смородины черной	Сорта смородины красной	Сорта крыжовника
<i>g2-G12</i>	167, 171, 173, 179, 181, 183, 185, 187, 189, 191	171, 177 , 181, 183	165 , 167, 171
<i>e1-001</i>	144, 146, 148, 150, 152, 154, 160, 166	138 , 140 , 142 , 144, 154	142 , 144, 146, 148
<i>gl-M07</i>	200, 202, 204, 206, 208, 210, 212, 214, 220, 226, 230	208, 210, 212	210, 212, 214, 220
<i>e3-B02</i>	161, 163, 166, 183	151 , 159 , 161	151 , 153 , 161, 163, 166, 168 , 170
<i>gl-A01</i>	209, 211, 213	209, 217 , 219 , 223 , 230	209, 234 , 241 , 245 , 256
<i>gl-E03</i>	233, 239, 241, 243, 247, 254, 262	223 , 230 , 233, 243	228 , 230 , 233, 236 , 280
<i>gl-K04</i>	270, 284, 286, 292, 294, 298, 300	288 , 300	284, 286, 292, 294, 296 , 300, 302
<i>E4D03</i>	200, 202, 204, 206, 208, 212, 214, 218, 220, 226	179 , 198 , 202, 208, 210	170 , 176 , 179 , 184

Примечание. Полужирным шрифтом выделены аллели, характерные только для сортов смородины красной (*Ribes rubrum*) и крыжовника обыкновенного (*Ribes uva-crispa*).

Число аллелей, встречавшихся только у сортов смородины красной и крыжовника обыкновенного, варьировалось от 1 (локусы *g2-G12*, *gl-M0*) до 5 (локус *E4D03*). Среднее количество аллелей на локус для сортов смородины красной составило 3,9, для сортов крыжовника обыкновенного – 5,5. При этом сгруппированы вместе характеризующиеся наименьшим генетическим расстоянием сорта смородины красной Ютерборгская и Голландская красная, Смольяниновская и Белая Потапенко (см. рис. 1). Первая группа сортов имеет голландское происхождение, исходные родительские формы не известны. Из структуры дендрограммы можно предположить, что в их создании принимали участие близкие генотипы. Сорт Белая Потапенко произошел от скрещивания сортов Красный крест и Красная сибирячка, сорт Смольяниновская получен в результате межсортовых скрещиваний (исходные формы не известны). Отличительной особенностью является то, что оба сорта имеют белый цвет ягод. На большом генетическом расстоянии от

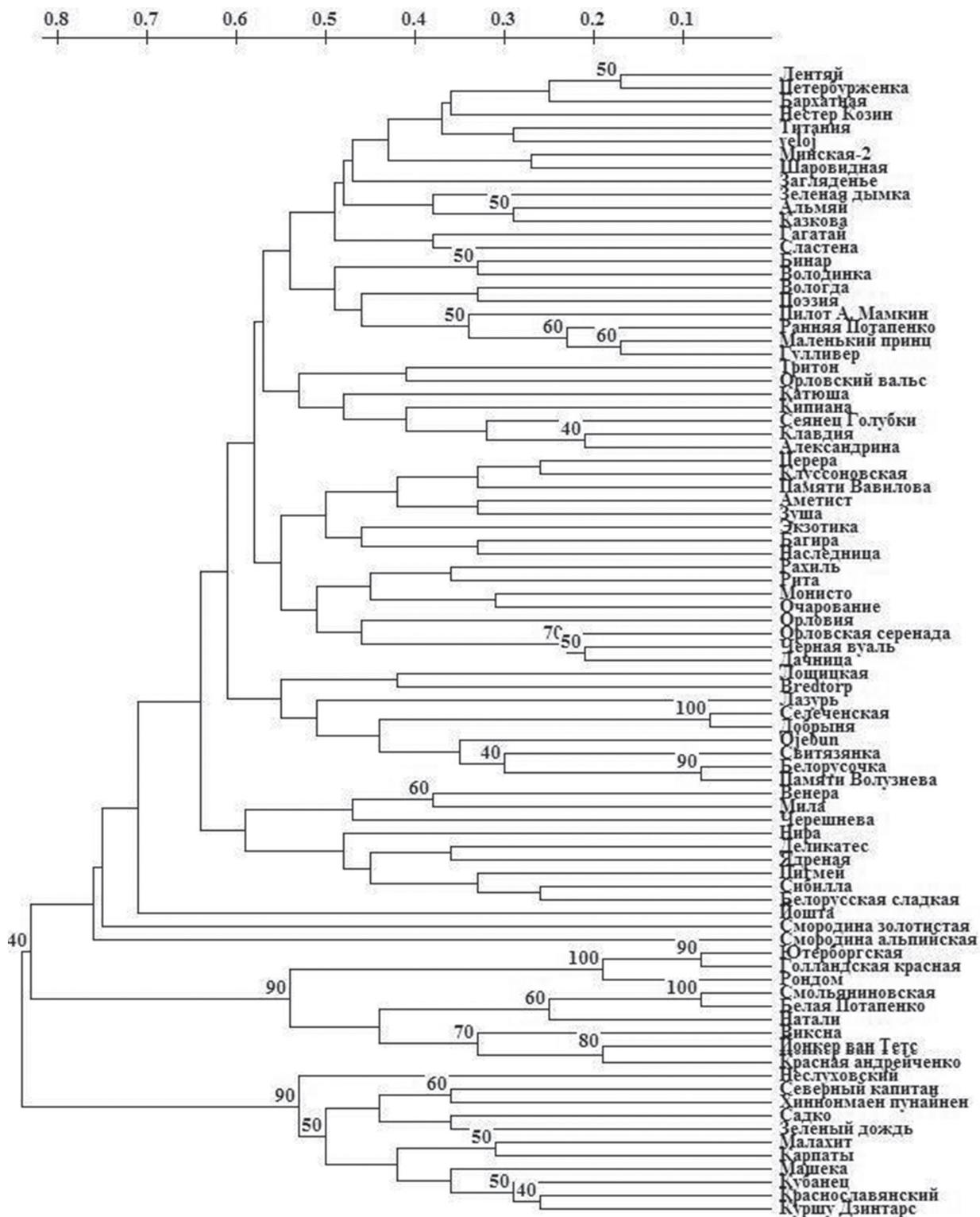


Рис. 2. Дендрограмма генетического сходства представителей рода *Ribes*, построенная на основе результатов SSR-анализа

Fig. 2. Dendrogram of genetic similarity of *Ribes* representatives, built on the basis of the results of SSR-analysis

культурных сортов смородины черной находятся смородина альпийская (*Ribes alpinum*), смородина золотистая (*Ribes aureum*) и йошта (*Ribes × nidigrolaria*), которые имеют уникальный состав аллелей по исследованным локусам. Разделение образцов рода *Ribes* на различные кластеры отмечалось и в работах исследователей, изучавших европейские сорта. В работе Savanna с соавт. [17]

показано расположение сортов смородины черной и смородины красной в разных кластерах на дендрограмме генетического сходства. Однако сорта крыжовника *Rokula*, *Invicta*, *Jonova* в данном исследовании объединены вместе с сортами смородины черной и могут быть выделены только на уровне подкластера. Исследование европейских сортов смородины черной, смородины красной и йошты выявило генетическую близость смородины черной и йошты, что говорит о преобладании у последней генома смородины черной. Сорта же смородины красной расположены на большом генетическом расстоянии и выделяются в отдельный кластер [22]. В исследовании не изучалось участие сортов крыжовника. В представленном исследовании проведен сравнительный анализ представителей 6 видов *Ribes*. Показано, что образцы, относящиеся к разным видам, формируют отдельные кластеры. При этом генетические расстояния между видами больше, чем внутривидовые. Генетически наиболее близки смородине черной йошта, смородина золотистая, смородина альпийская. На большем генетическом расстоянии находится смородина красная. Сорта крыжовника формируют кластер, наиболее отдаленный от видов смородины.

В целом культурные сорта смородины красной и крыжовника, выращиваемые в Республике Беларусь, характеризуются таким же высоким генетическим разнообразием, как и сорта смородины черной [29]. Коэффициенты попарного генетического сходства между ними варьировались от 0,08 до 0,64. Высокое генетическое разнообразие отмечено и для сортов европейской и российской селекции [15, 17, 18]. Вместе с тем для представителей видов *Ribes* характерна высокая гомология отдельных областей генома, что позволяет использовать для их анализа и идентификации единый набор SSR-маркеров.

Заклучение. С помощью 8 SSR-маркеров изучено генетическое разнообразие 86 представителей рода *Ribes*, выращиваемых в Республике Беларусь. Полученные результаты демонстрируют, что исследованные сорта смородины черной, смородины красной и крыжовника обыкновенного характеризуются достаточно высоким разнообразием аллелей локусов микросателлитных последовательностей. Определено, что среднее количество аллелей на локус среди 86 образцов составило 12,1, а среднее количество уникальных генотипов в расчете на маркер – 26,4. Значение дискриминационной силы для всех маркеров высокое (в среднем – 0,8). На основании анализа полиморфизма SSR-локусов сформирован набор из 8 маркеров, позволяющий проводить генетическую идентификацию генотипов представителей рода *Ribes*. Маркеры охватывают различные участки генома *Ribes* и расположены на разных хромосомах. При выборе набора учтен уровень информативности каждого маркера, частота встречаемости аллелей, выявляемых данным набором маркеров у сортов, а также удобство визуализации и анализа продуктов амплификации. Метод SSR-анализа с использованием указанного набора маркеров может успешно применяться для идентификации смородины черной, смородины красной и крыжовника обыкновенного на молекулярном уровне.

Список использованных источников

1. Brennan, R. M. Currants and gooseberries / R. M. Brennan // Temperate fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics ; ed. by J. F. Hancock. – Springer Netherlands, 2008. – Ch. 6. – P. 177–196.
2. Weigend, M. Phylogeny and classification of the genus *Ribes* (*Grossulariaceae*) based on 5S-NTS sequences and morphological and anatomical data / M. Weigend, O. Mohr, T. J. Motley // Bot. Jahrb. Syst. – 2002. – Vol. 124. – P. 163–182.
3. Cronquist, A. The evolution and classification of flowering plants / A. Cronquist // The New York Botanical Garden. – New York, 1988. – 555 p.
4. Sinnot, Q. P. A reversion of *Ribes* L. Subg. *Grossularia* (Mill.) pers. sect. *Grossularia* (Mill.) Nutt. (*Grossulariaceae*) in North America / Q. P. Sinnot // Rhodora. – 1985. – Vol. 87. – P. 198–286.
5. Genome size, heterocromatin organisation, and ribosomal gene mapping in four species of *Ribes* / J. Chiche [et al.] // Can. J. Bot. – 2003. – Vol. 81, N 11. – P. 1049–1057.
6. Lanham, P. G. Genetic diversity within a secondary pool for *Ribes nigrum* L. revealed by RAPD and ISSR markers / P. G. Lanham, A. Korycinska, R. M. Brennan // J. Hort. Sci. Biotech. – 2000. – Vol. 75, N 4. – P. 371–375.
7. Lanham, P. Fingerprinting of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cultivars using RAPD analyses / P. Lanham, R. M. Brennan, R. J. McNicol // Theor. Appl. Genet. – 1995. – Vol. 90. – P. 166–172.
8. Identification of red raspberry cultivars and an assessment to their relatedness using fingerprintings produced by random primers / J. Graham [et al.] // J. Hort. Sci. – 1994. – Vol. 69. – P. 123–130.
9. Isolation of molecular markers for tomato (*L. esculentum*) using random amplified polymorphic DNA (RAPD) / R. M. Klein-Lankhorst [et al.] // Theor. Appl. Genet. – 1991. – Vol. 83. – P. 108–114.
10. Moreno, S. The use of RAPD markers for identification of cultivated grapevine (*Vitis vinifera* L.) / S. Moreno, Y. Gogorcena, J. M. Ortiz // Sci. Hort. – 1995. – Vol. 62, N 4. – P. 237–243.

11. Paran, I. Identification of restriction fragment length polymorphism and random amplified polymorphic DNA markers linked to downy mildew resistance in lettuce using near-isogenic lines / I. Paran, R. Kesseli, R. Michelmore // *Genome*. – 1991. – Vol. 34. – P. 1021–1027.
12. Meunier, J. R. Factors affecting reproducibility of random amplified polymorphic DNA fingerprinting / J. R. Meunier, P. A. Grimont // *Res. Microbiol.* – 1993. – Vol. 144. – P. 373–379.
13. Korbin, M. Fruit plant germplasm characterisation using molecular markers generated in RAPD and ISSR-PCR / M. Korbin, A. Kuras, E. Zurawicz // *Cell. Mol. Biol. Lett.* – 2002. – Vol. 7. – P. 785–794.
14. Lanham, P. G. Genetic characterization of gooseberry (*Ribes* subgenus *Grossularia*) germplasm using RAPD, ISSR and AFLP markers / P. G. Lanham, R. M. Brennan // *J. Hort. Sci. Biotech.* – 1999. – Vol. 74, N 3. – P. 361–366.
15. Урбанович, О. Ю. Молекулярные маркеры идентификации и генотипирования яблони и груши / О. Ю. Урбанович. – Минск : Право и экономика, 2013. – 210 с.
16. Brennan, R. M. Future perspectives in black currant breeding / R. M. Brennan, S. L. Gordon // *Acta Hort.* – 2002. – Vol. 585. – P. 39–45.
17. Microsatellite-based evaluation of *Ribes* spp. germplasm / M. Cavanna [et al.] // *Genome*. – 2009. – Vol. 52, N 10. – P. 839–848.
18. Cavanna, M. Genetic diversity in ancient apple germplasm from northwest Italy / M. Cavanna, G. Bounous, R. Botta // *J. Hort. Sci. Biotech.* – 2008. – Vol. 83, N 5. – P. 549–554.
19. Boccacci, P. DNA typing and genetic relations among European hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars using microsatellite markers / P. Boccacci, A. Akkak, R. Botta // *Genome*. – 2006. – Vol. 49, N 6. – P. 598–611.
20. Marulanda, M. L. Genetic diversity of wild and cultivated *Rubus* species in Colombia using AFLP and SSR markers / M. L. Marulanda, A. M. Lopez, S. B. Aguilar // *Crop Breeding and Appl. Biotech.* – 2007. – Vol. 7. – P. 242–252.
21. New insight into wild red raspberry populations using simple sequence repeat markers / J. Graham [et al.] // *J. Am. Soc. Hort. Sci.* – 2009. – Vol. 134. – P. 109–119.
22. Establishment of molecular markers for germplasm management in a worldwide provenance *Ribes* spp. collection / L. Palmieri [et al.] // *POJ*. – 2013. – Vol. 6, N 3. – P. 165–174.
23. Nei, M. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases / M. Nei, W. H. Li // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 1979. – Vol. 76. – P. 5269–5273.
24. Van de Peer, Y. TREECON: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees / Y. Van de Peer, R. De Wachter // *Comput. Applic. Biosci.* – 1993. – Vol. 9. – P. 177–182.
25. Nei, M. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance / M. Nei, A. K. Roychoudhury // *Genetics*. – 1974. – Vol. 76. – P. 379–390.
26. Wright, S. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating / S. Wright // *Evolution*. – 1965. – Vol. 19. – P. 395–420.
27. Kloosterman, A. D. PCR-amplification and detection of the human DIS 80 VNTR locus. Amplification condition, population genetics and application in forensic analysis / A. D. Kloosterman, B. Budowle, P. Daselaar // *Int. J. Leg. Med.* – 1993. – Vol. 105. – P. 257–264.
28. Microsatellite loci polymorphism in Russian black currant (*Ribes nigrum* L.) varieties from collection of All-Russian Research Institute of Breeding Fruit Crops / A. V. Pikunova [et al.] // *Agricult. Biol.* – 2015. – Vol. 50, N 1. – P. 46–54.
29. Межнина, О. А. Генетическое разнообразие сортов смородины черной (*Ribes nigrum*) в Беларуси / О. А. Межнина, О. Ю. Урбанович // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук*. – 2017. – № 1. – С. 62–69.

References

1. Brennan R. M. Currants and gooseberries. Temperate fruit crop breeding: germplasm to genomics, in J. F. Hancock (ed.), Springer Netherlands, 2008, chapter 6, pp. 177–196. doi:10.1007/978-1-4020-6907-9.
2. Weigend M., Mohr O., Motley T. J. Phylogeny and classification of the genus *Ribes* (*Grossulariaceae*) based on 5S-NTS sequences and morphological and anatomical data. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*, 2002, vol. 124, pp. 163–182.
3. Cronquist A. *The evolution and classification of flowering plants*. New York: The New York Botanical Garden, 1988, p. 555.
4. Sinnot Q. P. A reversion of *Ribes* L. Subg. *Grossularia* (Mill.) pers. sect. *Grossularia* (Mill.) Nutt. (*Grossulariaceae*) in North America. *Rhodora*, 1985, vol. 87, pp. 198–286.
5. Chiche J., Brown S. C., Leclerc J.-C., Siljak-Yakovlev S. Genome size, heterocromatin organisation, and ribosomal gene mapping in four species of *Ribes*. *Canadian Journal of Botany*, 2003, vol. 81, no. 11, pp. 1049–1057. doi: 10.1139/b03-088.
6. Lanham P. G., Korycinska A., Brennan R. M. Genetic diversity within a secondary pool for *Ribes nigrum* L. revealed by RAPD and ISSR markers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2000, vol. 75, pp. 371–375.
7. Lanham P., Brennan R. M., McNicol R. J. Fingerprinting of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cultivars using RAPD analyses. *Theoretical and Applied Genetics*, 1995, vol. 90, pp. 166–172.
8. Graham J., McNicol R. J., Greig K., Van de Ven W. T. G. Identification of red raspberry cultivars and an assessment to their relatedness using fingerprintings produced by random primers. *The Journal of Horticultural Science*, 1994, vol. 69, pp. 123–130.
9. Klein-Lankhorst R. M., Vermunt A., Weide R., Liharska T., Zabel P. Isolation of molecular markers for tomato (*L. esculentum*) using random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Theoretical and Applied Genetics*, 1991, vol. 83, pp. 108–114. doi:10.1007/BF00229232.
10. Moreno S., Gogorcena Y., Ortiz J. M. The use of RAPD markers for identification of cultivated grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae*, 1995, vol. 62, no. 4, pp. 237–243.

11. Paran I., Kesseli R., Michelmore R. Identification of restriction fragment length polymorphism and random amplified polymorphic DNA markers linked to downy mildew resistance in lettuce using near-isogenic lines. *Genome*, 1991, vol. 34, pp. 1021–1027.
12. Meunier J. R., Grimont P. A. Factors affecting reproducibility of random amplified polymorphic DNA fingerprinting. *Research in Microbiology*, 1993, vol. 144, pp. 373–379.
13. Korbin M., Kuras A., Zurawicz E. Fruit plant germplasm characterisation using molecular markers generated in RAPD and ISSR-PCR. *Cellular and Molecular Biology Letters*, 2002, vol. 7, pp. 785–794.
14. Lanham P. G., Brennan R. M. Genetic characterization of gooseberry (*Ribes* subgenus *Grossularia*) germplasm using RAPD, ISSR and AFLP markers. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 1999, vol. 74, no. 3, pp. 361–366.
15. Urbanovich O. Yu. Molecular markers for identification and genotyping of apple and pear. Minsk, Pravo i ekonomika [Law and Economics], 2013. 210 p. (in Russian).
16. Brennan R. M., Gordon S. L. Future perspectives in black currant breeding. *Acta Horticulturae*, 2002, vol. 585, pp. 39–45.
17. Cavanna M., Marioni D. T., Beccaro G. L., Bounous G. Microsatellite-based evaluation of *Ribes* spp. Germplasm. *Genome*, 2009, vol. 52, no. 10, pp. 839–848. doi:10.1139/g09-057.
18. Cavanna M., Bounous G., Botta R. Genetic diversity in ancient apple germplasm from northwest Italy. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2008, vol. 83, no. 5, pp. 549–554.
19. Boccacci P., Akkac A., Botta R. DNA typing and genetic relations among European hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars using microsatellite markers. *Genome*, 2006, vol. 49, no. 6, pp. 598–611.
20. Marulanda M. L., Lopez A. M., Aguilar S. B. Genetic diversity of wild and cultivated *Rubus* species in Colombia using AFLP and SSR markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 2007, vol. 7, pp. 242–252.
21. Graham J., Woodhead M., Smith K., Russell J., Marshall B., Ramsay G., Squire G. New insight into wild red raspberry populations using simple sequence repeat markers. *The Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2009, vol. 134, pp. 109–119.
22. Palmieri L., Grando M. S., Sordo M., Grisenti M., Martens S., Giongo L. Establishment of molecular markers for germplasm management in a worldwide provenance *Ribes* spp. collection. *Plant Omics*, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 165–174.
23. Nei M., Li W. H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1979, vol. 76, pp. 5269–5273.
24. Van de Peer Y., Wachter de R. TREECON: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees. *Computer Applications in the Biosciences*, 1993, vol. 9, pp. 177–182.
25. Nei M., Roychoudhury A. K. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance. *Genetics*, 1974, vol. 76, pp. 379–390.
26. Kloosterman A. D., Budowle B., Daselaar P. PCR-amplification and detection of the human DIS 80 VNTR locus. Amplification condition, population genetics and application in forensic analysis. *The International Journal of Legal Medicine*, 1993, vol. 105, pp. 257–264.
27. Pikunova A. V., Knyazev S. D., Bakhotskaya A. Yu., Kochumova A. A. Microsatellite loci polymorphism in Russian black currant (*Ribes nigrum* L.) varieties from collection of All-Russian Research Institute of Breeding Fruit Crops. *Agricultural Biology*, 2015, vol. 50, no. 1, pp. 46–54. doi: 10.15389/agrobiology.2015.1.46eng.
29. Mezhnina O. A., Urbanovich O. Yu. Study of genetic variability of blackcurrant varieties (*Ribes nigrum*) grown in Belarus. *Vestsi Natsyianal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Biological series], 2017, no. 1, pp. 62–69. (in Russian).

Информация об авторах

Межнина Ольга Анатольевна – мл. науч. сотрудник. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: olgamezhnina@gmail.com.

Урбанович Оксана Юрьевна – д-р биол. наук, заведующий лабораторией. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: O.Urbanovich@igc.by.

Для цитирования

Межнина, О. А. Анализ вариабельности микросателлитных локусов у представителей рода смородины (*Ribes* L.), выращиваемых в Беларуси / О. А. Межнина, О. Ю. Урбанович // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 45–54.

Information about the authors

Mezhnina Volha Ananol'evna – Junior researcher. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olgamezhnina@gmail.com.

Urbanovich Oksana Yuryeuna – D. Sc. (Biol.), Head of the Laboratory. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: O.Urbanovich@igc.by.

For citation

Mezhnina O. A., Urbanovich O. Yu. Analysis of microsatellite loci variability *Ribes* L. representatives grown in Belarus. *Vestsi Natsyianal'nai akademii navuk Belarusi. Seriya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, biological series], 2017, no. 3, pp. 45–54.

М. Д. Мороз, Т. П. Липинская

Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Минск, Республика Беларусь

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИЯВОК (HIRUDINEA: RHYNCHOBDELLIDA, ARHYNCHOBDELLIDA) РЕКИ НЕМАН И ЕЕ ПРИТОКОВ

Рассмотрены результаты исследований водных моллюсков р. Неман и ее притоков. Обнаружено 12 видов пиявок, относящихся к 2 отрядам (Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) и входящих в состав 4 семейств: Glossiphoniidae – 7 видов; Piscicolidae – 1; Hirudinidae – 1 и Erpobdellidae – 3 вида. Обнаружены охраняемые и редкие в Беларуси и ряде стран Европы виды пиявок. К ним относятся *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758 и *Glossiphonia verrucata* (Fr. Müller, 1844). Сделан вывод о том, что река Неман и ее притоки служат естественным коридором, по которому возможен обмен видами пиявок между водоемами Средней и Восточной Европы.

Ключевые слова: реки, фауна, пиявки, видовая структура, редкие и охраняемые виды, Беларусь.

M. D. Moroz, T. P. Lipinskaya

Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

TAXONOMIC COMPOSITION OF LEECHES (HIRUDINEA: RHYNCHOBDELLIDA, ARHYNCHOBDELLIDA) OF THE NEMAN RIVER AND ITS TRIBUTARIES

The leeches of the Neman River and its tributaries were studied. 12 species of leeches belonging to 2 orders (Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) and 4 families were revealed: Glossiphoniidae – 7 species; Piscicolidae – 1; Hirudinidae – 1; Erpobdellidae – 3. Rare and protected species *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758 and *Glossiphonia verrucata* (Fr. Müller, 1844) were found. The Neman River can play the role of the Biological Corridor of leeches between Central and Eastern Europe.

Keywords: rivers, fauna, leeches, species structure, rare and protected species, Belarus.

Введение. Пресноводные пиявки играют существенную роль в трансформации вещества и энергии в водоемах. Они составляют определенную часть рациона некоторых бентосоядных рыб, земноводных и птиц. Эти водные беспозвоночные – переносчики паразитических жгутиконосцев (паразитов крови рыб), промежуточные хозяева плоских червей и сами могут вызывать заболевания рыб (писциколез, акнтобделлез и т. д.). Пиявки являются хищниками, питаются кровью моллюсков, червей, водных насекомых и особенно хирономид. Некоторые виды превращаются в эндопаразитов позвоночных животных, заползая, например, в глотку и дыхательное горло теплокровных животных, паразитируют также на земноводных и рептилиях [1].

Тем не менее, необходимо признать, что в настоящее время базовых данных о видовом составе и численности этой группы гидробионтов, обитающих в водоемах Беларуси и, в частности, в реке Неман и ее притоках, недостаточно или они фрагментарны [2–4].

Цель настоящей работы – изучение фауны пиявок на разных участках р. Неман и ряде ее притоков, к числу которых принадлежат реки Котра, Зельвянка, Дитва, Гавья, Уша и Исlochь.

Река Неман является одной из наиболее крупных рек Беларуси. Ее длина составляет 937 км (в Беларуси – 459 км), площадь водосбора в пределах республики – 35 000 км², средний наклон водной поверхности – 0,21 ‰, средняя скорость течения – 0,6–0,8 м/с. Река Котра: длина – 140 км, площадь водосбора – 2060 км², средний наклон водной поверхности – 0,20 ‰; в нижнем течении русло извилистое. Река Зельвянка: длина – 170 км, площадь водосбора – 1940 км², среднегодовой расход воды в устье – 11,0 м³/с; пойма заболоченная, ровная, русло извилистое, местами канализировано. Река Дитва: длина – 93 км (в границах Беларуси – около 90 км), среднегодовой расход воды – 8,2 м³/с; пойма двухсторонняя, заболоченная. Река Гавья: длина – 100 км (в границах Беларуси – 68 км), площадь водозабора – 1680 км², среднегодовой расход воды в устье – 13,6 м³/с;

пойма луговая, русло извилистое, берега крутые. Река Уша: длина – 75 км, площадь водозабора – 780 км², среднегодовой расход воды в устье – 6,01 м³/с. Река Исlochь: длина – 102 км, площадь водозабора – 1330 км², среднегодовой расход воды в устье – 10 м³/с; пойма в верховье ровная, русло извилистое, зарегулировано тремя плотинами, берега крутые, обрывистые [5, 6].

Материалы и методы исследования. Сборы, послужившие материалом для данного сообщения, проведены в апреле–мае и сентябре 2014 и 2015 гг. в прибрежной части рек на глубине около 0,5 м. Пробы брали с использованием стандартного гидробиологического сачка (25×25 см, 500 μm). Методика отбора проб проведена согласно Европейскому протоколу AQEM и стандарту ISO 7828. На каменистых грунтах и в местах развития макрофитов производили выемку камней, коряг и макрофитов, их последующий осмотр и отбор животных. За время исследований собрано и проанализировано около 100 проб.

Исследования проведены на следующих створах рек (см. рисунок):

- 1 – р. Котра (д. Котра, Гродненский р-н), 53°35′02.6″ с. ш., 024°11′30.5″ в. д.;
- 2 – р. Неман (г. п. Гожа, Гродненский р-н), 53°48′33.6″ с. ш., 023°50′56.1″ в. д.;
- 3 – р. Неман (г. п. Лунно, Мостовский р-н), 53°27′32.2″ с. ш., 024°16′44.0″ в. д.;
- 4 – р. Зельвянка (д. Пески, Мостовский р-н), 53°21′34.3″ с. ш., 024°37′50.1″ в. д.;
- 5 – р. Дитва (д. Малое Ольжево, Лидский р-н), 53°49′36.9″ с. ш., 025°08′06.2″ в. д.;
- 6 – р. Гавья (д. Залейки, Ивьевский р-н), 53°50′42.4″ с. ш., 025°35′48.1″ в. д.;
- 7 – р. Неман (д. Дындылишки, Ивьевский р-н), 53°51′44.1″ с. ш., 025°44′21.1″ в. д.;
- 8 – р. Неман (г. п. Любча, Новогрудский р-н), 53°45′37.9″ с. ш., 026°04′01.7″ в. д.;
- 9 – р. Уша (д. Трощицы, Кореличский р-н), 53°29′37.9″ с. ш., 026°22′59.5″ в. д.;
- 10 – р. Неман (д. Дрозды, Столбцовский р-н), 53°29′14.4″ с. ш., 027°01′13.9″ в. д.;
- 11 – р. Неман (д. Николаевщина, Столбцовский р-н), 53°25′31.3″ с. ш., 026°48′44.1″ в. д.;
- 12 – р. Исlochь (г. Раков, Воложинский р-н), 53°58′22.7″ с. ш., 026°40′49.4″ в. д.

Результаты и их обсуждение. Всего выявлено 12 видов пиявок, относящихся к 2 отрядам (Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) и входящих в состав 4 семейств: Glossiphoniidae – 7 видов, Piscicolidae – 1; Hirudinidae – 1; Erpobdellidae – 3 вида (см. таблицу).

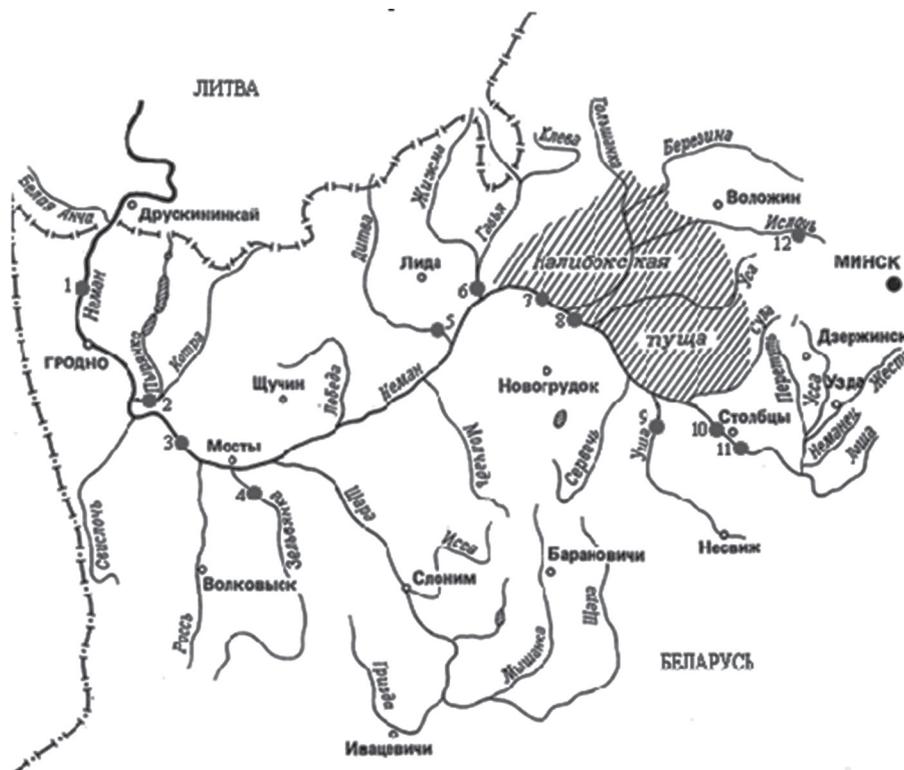


Схема исследуемых створов бассейна р. Неман
Diagram of the studied sites in the basin of the Neman River

Среди найденных пиявок доминирующим видом оказалась *Erpobdella octoculata* (Linnaeus, 1758) – 67 экз. (33,33 % относительной численности от всех собранных пиявок), а субдоминантом – *Glossiphonia complanata* (Linnaeus, 1758) – 39 экз. (19,40 %).

Эти виды характеризуются широкой экологической пластичностью и поэтому могут обитать в разнообразных текучих и стоячих континентальных водоемах. Питаются *Erpobdella octoculata* и *Glossiphonia complanata* мелкими водными беспозвоночными животными – моллюсками, олигохетами, личинками насекомых и особенно хирономид, мелкими пиявками, икрой рыб, даже могут поедать мертвых животных [1]. Необходимо также отметить, что *Erpobdella octoculata* и *Glossiphonia complanata* являются достаточно обычными видами в водоемах не только Беларуси, но и Европы в целом. При этом следует отметить, что они часто могут быть доминирующими видами.

Среди выявленных пиявок охраняемым видом в Беларуси является медицинская пиявка – *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758. Этот вид имеет II национальную категорию природоохранного значения, включен в Красную книгу МСОП (LR/nt), список Бернской конвенции (1979), а также имеет национальный статус охраны в Литве, Латвии, Эстонии, Украине и Польше [7].

Медицинская пиявка распространена во всей Европе: до Урала на востоке, стран Скандинавии на севере, Закавказья и Азербайджана на юге, а также на севере Африки (в Алжире). Для достижения половой зрелости *Hirudo medicinalis* требуется около 3 лет. Этот вид питается кровью

Таксономический состав и количество пиявок, коллектированных в р. Неман и ее притоках
Taxonomic composition and quantity of leeches of the Neman River and its tributaries

Таксон	Створы, экз.												Всего экз.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Отряд Rhynchobdellida R. Blanchard, 1894 Сем. Glossiphoniidae Vaillant, 1890 Подсем. Glossiphoniinae Autrum, 1939													
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)			1		6		1		1		1	29	39
<i>Glossiphonia concolor</i> (Apáthy, 1883)			1									1	2
<i>Glossiphonia verrucata</i> (Fr. Müller, 1844)												2	2
<i>Glossiphonia</i> sp.	2			3						1			6
<i>Hemiclepsis marginata</i> (O.F. Müller, 1774)			9						1				10
<i>Placobdella costata</i> (Fr. Müller, 1846)									1				1
Подсем. Haementeriinae Autrum, 1939													
<i>Alboglossiphonia heteroclita</i> (Linnaeus, 1758)		2	6								2		10
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)			2		1	1	7		4	1			16
Сем. Piscicolidae Johnston, 1865													
<i>Piscicola geometra</i> (Linnaeus, 1761)		5			1	1				1			8
Отряд Arhynchobdellida R. Blanchard, 1894 Подотр. Haemopidae Whitman, 1886 Сем. Hirudinidae Richardson, 1969													
<i>Hirudo medicinalis</i> Linnaeus, 1758			1										1
Подотр. Erpobdelliformes Sawyer, 1986 Сем. Erpobdellidae R. Blanchard, 1894 Подсем. Erpobdellinae R. Blanchard, 1894													
<i>Erpobdella nigricollis</i> (Brandes, 1900)	5	1	8		2		1	1				5	23
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)	2	7	26		8	1	1		9	2	2	9	67
<i>Erpobdella</i> sp.			1			1	1		2				5
Подсем. Trochetinae Perrier, 1897													
<i>Dina lineata</i> (O.F. Müller, 1774)		1	1	1									3
Число экземпляров	9	21	56	4	19	5	11	1	20	4	5	46	201
Число видов	3	6	10	2	6	5	5	1	8	3	3	5	12

П р и м е ч а н и е. Створы: 1 – р. Котра (д. Котра); 2 – р. Неман (г. п. Гожа); 3 – р. Неман (г. п. Лунно); 4 – р. Зельвянка (д. Пески); 5 – р. Дитва (д. Малое Ольжево); 6 – р. Гавья (д. Залейки); 7 – р. Неман (д. Дындыллишки); 8 – р. Неман (г. п. Любча); 9 – р. Уша (д. Трощицы); 10 – р. Неман (д. Дрозды); 11 – р. Неман (д. Николаевщина); 12 – р. Исloch (г. Раков).

преимущественно теплокровных животных, но может также нападать на рыб, лягушек, головастики, птенцов водоплавающих птиц. Высосанная кровь, которая находится в желудке пиявки, может сохраняться в жидком состоянии несколько месяцев, что позволяет этим животным жить от кормления до кормления до 2 лет.

Материал: р. Неман, Мостовский р-н, г. п. Лунно, 12.IX.2015, 1 экз.

Редким видом, ранее найденным в единичном количестве и единичных местообитаниях на территории Беларуси, является пиявка *Glossiphonia verrucata* (F. Müller, 1844). Следует отметить, что в целом ареал этого вида изучен еще недостаточно [8]. *Glossiphonia verrucata* имеет бореоальпийский ареал и встречается в Северной Германии, Великобритании, Польше, Ирландии, Дании, Швеции и России (Коми, Красноярский край) [9]. Этот вид предпочитает обитать в небольших озерах и прудах с богатой водной растительностью, питается в основном брюхоногими моллюсками [1]. В Беларуси *Glossiphonia verrucata* ранее указывалась для Березинского биосферного заповедника (оз. Палик) и Беловежской Пуши (р. Нарев) [10]. Вид включен в Красный список Норвегии, категория охраны VU [11], и Польши, категория охраны DD [12].

Материал: р. Исlochь, Воложинский р-н, г. Раков, 26.IV.2015, 1 экз.

Кроме того, ряд выявленных нами видов пиявок также входит в национальные красные книги или красные списки ряда стран Европы. К ним относятся *Erpobdella nigricollis* (Brandes, 1900) и *Dina lineata* (O. F. Müller, 1774) [12, 13].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в р. Неман и ее притоках сложилась относительно богатая фауна пиявок. Некоторые ее представители являются редкими или охраняемыми видами не только в Беларуси, но и в ряде стран Европы.

Также можно отметить, что р. Неман может служить важным естественным коридором, по которому возможен обмен видами пиявок между водоемами Средней и Восточной Европы.

Заклучение. В результате проведенных исследований в р. Неман и ряде ее притоков выявлено 12 видов пиявок, относящихся к 2 отрядам (Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) и входящих в состав 4 семейств: Glossiphoniidae – 7 видов; Piscicolidae – 1; Hirudinidae – 1; Erpobdellidae – 3 вида.

Наиболее многочисленными видами являлись *Erpobdella octoculata* (Linnaeus, 1758) и *Glossiphonia complanata* (Linnaeus, 1758), проявляющие эвритопные свойства и нападающие на мелких водных беспозвоночных.

Обнаружены охраняемые и редкие в Беларуси и ряде стран Европы виды пиявок. К ним относятся *Hirudo medicinalis* Linnaeus, 1758, *Glossiphonia verrucata* (Fr. Müller, 1844), а также *Erpobdella nigricollis* (Brandes, 1900) и *Dina lineata* (O. F. Müller, 1774).

Согласно результатам исследования, р. Неман и ее притоки могут служить естественным коридором, по которому возможен обмен видами пиявок между водоемами Средней и Восточной Европы.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность В. П. Семенченко за поддержку и советы в проведении исследований и Т. Н. Рыбкиной за помощь в выполнении полевых работ. Исследования выполнены при поддержке отдельного гранта НАН Беларуси, утвержденного постановлением Бюро Президиума № 7 от 14 января 2014 г.

Acknowledgements. The authors are thankful to V. P. Semenchenko for support and valuable pieces of advice and to T. N. Rybkina for assistance with the field work. This work was supported by the National Academy of Sciences of Belarus under Grant number 7 (14.01.2014).

Список использованных источников

1. Лукин, Е. И. Пиявки пресных и солоноватых водоемов / Е. И. Лукин. – Л. : Наука, Ленинград. отд-ние, 1976. – 484 с. – (Фауна СССР. Пиявки : новая серия № 109 ; т. 1).
2. Мороз, М. Д. Фауна водных и околоводных беспозвоночных природного комплекса «Августовская пуца» / М. Д. Мороз, М. В. Максименков // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2006. – № 2. – С. 57–62.
3. Мороз, М. Д. Водные беспозвоночные гидроузла Гродненской ГЭС Беларуси / М. Д. Мороз // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию со дня рождения акад. Н. В. Смольского (7–9 окт. 2015 г., Минск, Беларусь) : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. бот. сад и др. ; редкол. : В. В. Титок (отв. ред.) и др. – Минск, 2015. – Ч. 2. – С. 191–196.

4. Мороз, М. Д. Видовой состав водных беспозвоночных гидрорула Гродненской ГЭС / М. Д. Мороз // Природ. ресурсы. – 2016. – № 1. – С. 48–54.
5. Блакітная кніга Беларусі : (водныя аб'екты Беларусі) / Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі ; [рэдкал. : Н. А. Дзісько і інш. ; маст. В. Г. Загародні]. – Мінск : БелЭн, 1994. – 415 с.
6. География Белоруссии / под ред. В. А. Дементьева [и др.]. – 2-е изд., перераб. – Минск : Выш. шк., 1977. – 319 с.
7. Красная книга Республики Беларусь. Животные : редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Нац. Акад. наук Беларуси ; авт.-сост.: О. И. Бородин и др. ; гл. редкол.: И. М. Качановский (предс.) и др. – 4-е изд. – Минск : Беларус. энцыкл. імя П. Броўкі, 2015. – 317 с.
8. Neseemann, H. Annelida, Clitellata: Branchiobdellida, Acanthobdellea, Hirudinea / H. Neseemann, T. E. Neuber // Süßwasserfauna von Mitteleuropa. – 1999. – Bd. 6, N 2. – S. 151.
9. Bielecki, A. Glossiphoniadae Valillant, 1850 (Hirudinea) of Poland – systematics and perspectives of studies / A. Bielecki, J. Rybak, M. Łukowiak-Bielecka // Wiadomości parazytologiczne. – 1999. – Vol. 45, N 1. – S. 29–61.
10. Мороз, М. Д. Пиявки (Hirudinea) озер Березинского биосферного заповедника / М. Д. Мороз, В. В. Кормаз // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 2005. – № 3. – С. 62–65.
11. Oug, E. Annelida / E. Oug // The Norwegian Red List for Species. – Artstabanen, 2010. – P. 199–208.
12. Jażdżewska, T. Pijawki (Hirudinea) / T. Jażdżewska, J. Wiedeńska // Czerwona lista zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce / Instytut Ochrony Przyrody PAN ; in Z. Głowaciński (ed.). – Kraków, 2002. – S. 144–145.
13. Sket, B. Rdeči seznam ogroženih pijavk (Hirudinea) v Sloveniji / B. Sket // Varstvo narave. – 1992. – Vol. 17. – P. 177–178.

References

1. Lukin E. I. *Hirudinea of fresh and brackish reservoirs*. Leningrad, Nauka, Leningradskoe otdelenie [Science, Leningrad Branch], 1976. 484 p. In the series: Fauna of the USSR. Leeches, vol. 1. (in Russian).
2. Moroz M. D., Maksimenkov M. V. Fauna aquatic and semi-aquatic invertebrates of the natural complex “August Forest”. *Vestnik BGU. Seriya 2, Khimiia. Biologiia. Geografiia* [Bulletin of BGU News. Series 2, Chemistry. Biology. Geography], 2006, no. 2, pp. 57–62. (in Russian).
3. Moroz M. D. Aquatic invertebrates of the hydroengineering system of the Grodno hydroelectric power station of Belarus. *Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 110-letiiu so dnia rozhdeniia akademika N. V. Smol'skogo “Problemy sokhraneniia biologicheskogo raznoobrazii i ispol'zovaniia biologicheskikh resursov”* [Materials the III International scientific and practical conference “Problems of biological diversity conservation and biological resources use devoted to the 110 anniversary since the birth of the Academician N. V. Smolsky”]. Minsk, 2015, part 2, pp. 191–196. (in Russian).
4. Moroz M. D. Species composition of aquatic invertebrates of the hydroengineering system of the Grodno hydroelectric power station. *Natural Resources*, 2016, no. 1, pp. 48–54. (in Russian).
5. *Blue book of Belarus (water objects of Belarus)*, edited by N. A. Dzisko et al. Minsk, Belaruskaia entsyklopedyia imia Petrusia Brouki [Belarusian Encyclopedia named after Petrus Brovka], 1994. 415 p. (in Russian).
6. *Geography of Belarus*, edited by V. A. Dementiev et al., 2nd ed. Minsk, Vysshaia shkola [High school], 1977. 319 p. (in Russian).
7. *Red Book of the Republic of Belarus. Animals: rare and endangered species of wild animals*. Author-compiler: O. I. Borodin et al., edited by I. M. Kochanovsky et al. Minsk, Belaruskaia entsyklopedyia imia Petrusia Brouki [Belarusian Encyclopedia named after Petrus Brovka], 2015. 317 p. (in Russian).
8. Neseemann H., Neuber T. E. Annelida, Clitellata: Branchiobdellida, Acanthobdellea, Hirudinea. *Süßwasserfauna von Mitteleuropa*, 1999, vol. 6, no. 2, p. 151.
9. Bielecki A., Rybak J., Łukowiak-Bielecka M. Glossiphoniadae Valillant, 1850 (Hirudinea) of Poland – systematics and perspectives of studies. *Wiadomości parazytologiczne*, 1999, vol. 45, no. 1, pp. 29–61. (in Polish).
10. Moroz M. D., Kormaz V. V. Hirudinea of the lakes in the Berezinsky biospheric reserve. *Vestnik BGU. Seriya 2, Khimiia. Biologiia. Geografiia* [Bulletin of BSU. Series 2, Chemistry. Biology. Geography], 2005, no. 3, pp. 62–65. (in Russian).
11. Oug E. Annelida. *The Norwegian Red List for Species*. Artstabanen, 2010, pp. 199–208.
12. Jażdżewska T., Wiedeńska J. Pijawki (Hirudinea). *Czerwona lista zwierząt ginących i zagrożonych w Polsce*, in Głowaciński Z. (ed.). Kraków, Instytut Ochrony Przyrody PAN, 2002, pp. 144–145. (in Polish).
13. Sket B. Rdeči seznam ogroženih pijavk (Hirudinea) v Sloveniji. *Varstvo narave*, 1992, vol. 17, pp. 177–178. (in Polish).

Информация об авторах

Мороз Михаил Дмитриевич – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: mdmoroz@bk.ru.

Information about the authors

Moroz Michail Dmitrievich – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mdmoroz@bk.ru.

Липинская Татьяна Петровна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tatsiana.lipinskaya@gmail.com.

Lipinskaya Tatsiana Petrovna – Ph. D. (Biol). Leading researcher. Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tatsiana.lipinskaya@gmail.com.

Для цитирования

Таксономический состав пиявок (Hirudinea: Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) реки Неман и ее притоков / М. Д. Мороз, Т. П. Липинская // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 55–60.

For citation

Moroz M. D., Lipinskaya T. P. Taxonomic composition of leeches (Hirudinea: Rhynchobdellida, Arhynchobdellida) of the Neman River and its tributaries. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. C. 55–60.

А. А. Мельникова, Д. С. Волкова, Е. А. Храмцова

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

**ХАРАКТЕРИСТИКА *acdS*-ГЕНА БАКТЕРИЙ *PSEUDOMONAS PUTIDA* B-37
И СОЗДАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЕГО ТРАНЗИЕНТНОЙ ЭКСПРЕССИИ В РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТКАХ
*NICOTIANA BENTHAMIANA***

Продуктивное ведение мирового сельского хозяйства затруднено в связи с влиянием на растения широкого спектра факторов биотического и абиотического происхождения. Данные стрессовые воздействия вызывают в растении продукцию фитогормона этилена, накопление которого приводит к ускорению процессов старения, пожелтению и опаданию листьев и плодов. В настоящее время одним из наиболее перспективных подходов к снижению концентрации стрессового этилена является использование фермента 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат дезаминазы (АЦК-дезаминазы), который разлагает предшественник этилена, АЦК, до аммиака и α -кетобутирата. Ген *acdS*, кодирующий данный фермент, представлен в геномах ризобактерий, в частности видов рода *Pseudomonas*. В настоящей работе ген *acdS* выделен из бактерий *Pseudomonas putida* B-37 и клонирован в составе вектора pBI121. Полученная векторная конструкция использована для проведения агробактериальной трансформации листьев растений *Nicotiana benthamiana* для установления временной экспрессии. Полученные данные об экспрессии *acdS*-гена в растительных клетках позволяют сделать вывод о том, что создание трансгенных растений, несущих бактериальный ген АЦК-дезаминазы, возможно и перспективно для народного хозяйства.

Ключевые слова: АЦК-дезаминаза, *acdS*-ген, временная экспрессия гена, *Nicotiana benthamiana*, *Pseudomonas putida*, *Agrobacterium tumefaciens*.

A. A. Melnikava, D. S. Volkava, E. A. Khramtsova

Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

**CHARACTERISTICS OF BACTERIAL *acdS*-GENE FROM THE STRAIN *PSEUDOMONAS PUTIDA* B-37
AND THE CREATION OF A GENETIC CONSTRUCT FOR DETERMINING ITS TRANSIENT EXPRESSION
IN THE PLANT CELLS *NICOTIANA BENTHAMIANA***

Ethylene is an essential plant hormone also known as a stress hormone because its synthesis is accelerated by induction of a variety of biotic and abiotic stress. The plant growth promoting bacteria containing the enzyme 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase (ACC-deaminase) enhances plant growth by decreasing ethylene level under stress conditions. The expression of ACC-deaminase (*acdS*) gene in transgenic plants is an alternative approach to overcome the ethylene-induced stress. Agrobacterium-mediated DNA transfer is currently the most facile and versatile method to deliver gene constructs into the nucleus for gene function analysis in diverse plant species. Transient gene expression via Agrobacterium-mediated DNA transfer in different plant tissues offers a simple and fast method to analyze transgene functions. In present work, the *acdS*-gene was amplified by PCR and then cloned into pBI121 vector under the control of the cauliflower mosaic virus (CaMV) 35s promoter. *Agrobacterium tumefaciens* GV3101 strain harboring pBI121-*acdS* vector jointly with the helper strain 19K were used for Agrobacterium-mediated leaf infiltration in *Nicotiana benthamiana* to infect 3-weeks-old plants. Monitoring of transient expression efficiency at 3 days post-infection was conducted by plant RNA extraction and RT-PCR. RNA was extracted from *Nicotiana's* infiltrated zones and an amount of 1 μ g total RNA was used to synthesize first-strand cDNA and then RT-PCR.

Keywords: ACC-deaminase, *acdS*-gene, transient expression, *Nicotiana benthamiana*, *Pseudomonas putida*, *Agrobacterium tumefaciens*.

Введение. В настоящее время одной из ключевых проблем растениеводства, требующих решения, является повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды, количество которых год от года увеличивается вследствие активного антропогенного вмешательства в среду. К таким факторам относятся как биотические (патогенные организмы: бактерии, грибы, нематоды), так и абиотические (засоление почв и их загрязнение солями тяжелых металлов, засуха и затопление полей, температурные стрессы) [1]. Для борьбы с ними применяется целый спектр методов, однако в последние десятилетия предпочтение отдается созданию трансгенных

растений, устойчивых к стрессовым факторам среды. Одним из наиболее перспективных направлений является использование для подобных генно-инженерных манипуляций генов ризобактерий, стимулирующих рост растений (PGPR – Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). Особый интерес представляют гены, отвечающие у ризобактерий за способность утилизировать этилен – гормон, выделяемый растениями в ответ на стресс и при накоплении в больших количествах угнетающий рост растительного организма. Препятствовать этому способен бактериальный фермент АЦК-дезаминаза, разлагающий предшественник этилена, АЦК, до аммиака и α -кетобутирата. При этом уровень этилена снижается настолько, что растение уже не зависит от этиленового ингибирования роста [1, 2]. Ген *acdS*, кодирующий АЦК-дезаминазу, обнаружен у многих почвенных микроорганизмов (особенно широко он представлен у различных видов рода *Pseudomonas* [3, 4]) и используется для получения трансгенных растений, устойчивых к различным видам стрессов.

На сегодняшний день агробактериальная трансформация растений – наиболее удобный и эффективный метод доставки целевого гена в ядро растительной клетки [5]. В свою очередь временная экспрессия гена, которая достигается путем инфильтрации листового материала клетками агробактерий с конструкцией, содержащей целевой ген, может являться простым и быстрым методом детекции экспрессии гена, что позволяет убедиться в целесообразности создания полноценного трансгенного растительного организма [6].

Цель настоящей работы – характеристика *acdS*-гена бактерий *Pseudomonas putida* B-37 и создание генетической конструкции для определения временной экспрессии данного гена в растительных клетках *Nicotiana benthamiana*.

Объекты и методы исследования. В данной работе использованы следующие бактериальные штаммы: *P. putida* B-37, *Escherichia coli* XL-1 blue, *Agrobacterium tumefaciens* GV3101, *A. tumefaciens* 19K, полученные из коллекции НИЛ молекулярной генетики и биотехнологии биологического факультета БГУ. Бактериальные культуры хранили в столбиках с 0,7 %-ной агаризованной средой на основе полноценной среды LB под слоем вазелинового масла при температуре +4 °С. Культивирование бактерий проводили при 28 и 37 °С в колбах объемом 50 мл либо в колбах Эрленмейера (объемом 250 мл), содержащих необходимое количество жидкой среды (50 или 100 мл) при перемешивании и аэрации (140–160 об/мин).

Аmplификация *acdS*-гена. При постановке полимеразной цепной реакции (ПЦР) использовали реактивы производства Fermentas (Литва): Taq-полимеразу, 10-кратный Taq-буфер для ПЦР, смесь дНТФ и деионизированную воду в концентрациях, предложенных производителем. Для амплификации гена *acdS* использовали хромосомную ДНК бактерий *P. putida* B-37. Выделение и очистку препаратов хромосомной ДНК осуществляли по стандартному методу Дж. Мармура [7], ПЦР – с использованием праймеров, разработанных согласно имеющимся нуклеотидным последовательностям различных *acdS*-генов в базе данных UniProt: Forward: (Fatg) 5'-tccggatccatg aacctgaatcgttttraacgttatc-3'; Reverse: (Rtga) 5'-tccggatcctcagccgttgccgraacargaag-3'. Параметры циклов амплификаций: первичная денатурация – 5 мин при 94 °С; затем 35 циклов по 30 с: денатурация – при 94 °С; отжиг – при 54 °С; элонгация – при 72 °С; заключительная достройка – при 72 °С. ПЦР осуществляли по заданной программе с использованием аппарата Thermo Hydaid. Реакцию проводили в объеме 10 мкл. Результаты ПЦР визуализировали с помощью электрофореза в агарозном геле с использованием буферной системы TAE согласно методическим указаниям, изложенным в руководстве [8]. Выделение ДНК из агарозного геля осуществляли с помощью Gel Extraction Kit (производство Fermentas) согласно предложенной методике. Амплифицированный ген клонировали в составе вектора pTZ57R/T в клетках *E. coli* XL-1 blue, после чего вырезали по BamHI-сайтам, встраивали в вектор pBI121 и трансформировали в клетки бактерий *E. coli* XL-1 blue. Для подтверждения наличия в трансформированных клетках векторной конструкции, несущей целевой ген, выделяли рекомбинантную плазмидную ДНК и проводили ПЦР-анализ с использованием указанных выше праймеров. Бинарный вектор pBI121 трансформировали в клетки *A. tumefaciens* GV3101 согласно указаниям, изложенным в руководстве М. Хольстера [9].

Сиквенс-анализ последовательности гена *acdS* бактерий *P. putida* B-37. Секвенирование осуществляли на базе компании «СИНТОЛ» (Москва). Первичную нуклеотидную последователь-

ность *acdS*-гена бактерий *P. putida* В-37 строили с использованием программного обеспечения SQ (<http://www.bio.bsu.by/sq/files.html>) [10]. Поиск гомологичных последовательностей осуществляли в базе данных Национального центра биотехнологических данных (NCBI) с использованием программы BLAST по алгоритму nucleotide blast (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) [11]. В программе Translate на платформе ExPASy (<https://www.expasy.org/>) [12] определяли аминокислотную последовательность белка, кодируемого исследуемым геном, которую затем анализировали на наличие консервативных доменов с помощью ресурса Conserved Domains на портале NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/cdd/wrpsb.cgi>) [13]. Выравнивание и построение филограммы осуществляли с помощью пакета функций программы MEGA6 (<http://www.megasoftware.net/>) [14]; выравнивание – с использованием статистического метода ClustalW, филогенетическое дерево строили по алгоритму Neighbor-joining.

Инфильтрация растений *N. benthamiana*. Растения выращивали в течение 3 недель в условиях закрытого грунта при 16-часовом искусственном освещении и температуре +23 °С в течение светового дня. Для трансформации растительных клеток *N. benthamiana* использовали метод транзиторной трансформации с помощью клеток *A. tumefaciens* GV3101 (pBI121-*acdS*) и *A. tumefaciens* 19К (вспомогательный штамм).

Определение транзиторной экспрессии бактериального гена в геноме растительной клетки. Через 3 дня после инфильтрации из инокулированного растительного материала выделена тотальная РНК [8]. В качестве матрицы для синтеза кДНК, который проводили согласно протоколу, представленному фирмой-изготовителем (Thermo Fisher Scientific), использовали 1 мкг РНК. Полученная кДНК служила матрицей при постановке ПЦР с праймерами к нативному *acdS*-гену бактерий *P. putida* В-37.

Результаты и их обсуждение. Используемые в данной работе бактерии *P. putida* В-37 являются ризосферными микроорганизмами, обладают противогрибковой и антибактериальной активностью за счет синтеза феназиновых пигментов и характеризуются выраженной ростостимулирующей активностью [15]. Для амплификации гена *acdS* использовали ПЦР со специально разработанными праймерами на основании анализа последовательностей, соответствующих *acdS*-генам, представленным среди бактерий рода *Pseudomonas*. Продукт ПЦР размером 1000 п. н., полученный при амплификации фрагмента, выделен из агарозного геля и лигирован с Т-вектором (pTZ57R/T из набора InsTAcloneTM PCR Cloning Kit производства Fermentas). Генетическая конструкция pTacdSB37, несущая фрагмент, соответствующий *acdS*-гену *P. putida* В-37 (представлена на рис. 1), отсекували, что позволило установить первичную нуклеотидную последовательность *acdS*-гена:

GGATCCATGAACCTGAATCGTTTTGAACGTTATCCGTTGACCTTCGGTCCTTCTCCCATC
ACGCCCTTGAAGCGCCTCAGTGAACACCTGGGGGGCAAGGTTCGAGTTGTATGCCAAACGTG
AAGACTGCAACAGTGGCCTGGCCTTCGGCGGGAACAAAACGCGCAAGCTCGAATATTTGAT
TCCCGAAGCGATCGAGCAAGGCTGCGATACCTTGGTTTTCCATCGGCGGCATCCAGTCGAACC
AGACTCGCCAGGTGGCCGCCGTTGCCGCTCACCTGGGTATGAAGTGCGTGCTGGTGCAGGA
AAACTGGGTGAACTACTCCGATGCGGTGTATGACCGCGTTGGCAATATCGAAATGTCTCGCA
TCATGGGCGCCGACGTACTACTGAATGCCGCCGGGTTTCGACTTTGGCATCCGGCCCAGCTGG
GAGAAGGCCATGGACGATGTGGTGGCGCGGGGCGGCAAGCCGTTCCCGATACCGGCGGGT
TGTCCGAACACCCCTACGGCGGCCTGGGGTTCGTTCGGCTTTGCCGAGGAAGTGCAGAGAGC
AGGAAAAACAACCTGGGTTTCACGTTTCGACTACATCGTGGTGTGCTCTGTGACCGGCAGTACC
CAGGCCGGCATGGTTCGCTCGGTTTCGCTGCTGACGGCCGTTTCGAAGAACGTTATCGGCATCGA
TGCCTCGGCCAAGCCAGAGAAAACCAAGGCTCAGATCCTGCGTATCGCCCGGCATAACCGCA
GAGTTGGTGGGACTGGGCCGTGAGATCACCGAAGACGACGTGGTGTGCTCGATACAGTTTTGC
CTACCCGGAATACGGTTTTGCCCAACGACGGCACGTTGGTAGCCATTCGTCTGTGCGCAAGCC
TTGAAGGTGTGCTGACCGATCCGGTGTACGAGGGCAAATCCATGCACGGGATGATTGAAAT
GGTCCGCCGTGGTGGTTCGCCGAAGGCTCGAAAGTGCTGTATGCGCACCTGGGCGGGGGCG
CCTGCGCTGAATGCCTACAGCTTCTTGTTCGCAACGGCTGAGGATCC.

Анализ первичной нуклеотидной последовательности позволил установить степень гомологии с генами АЦК-деаминазы бактерий рода *Pseudomonas* sp. (86–91 % идентичности).

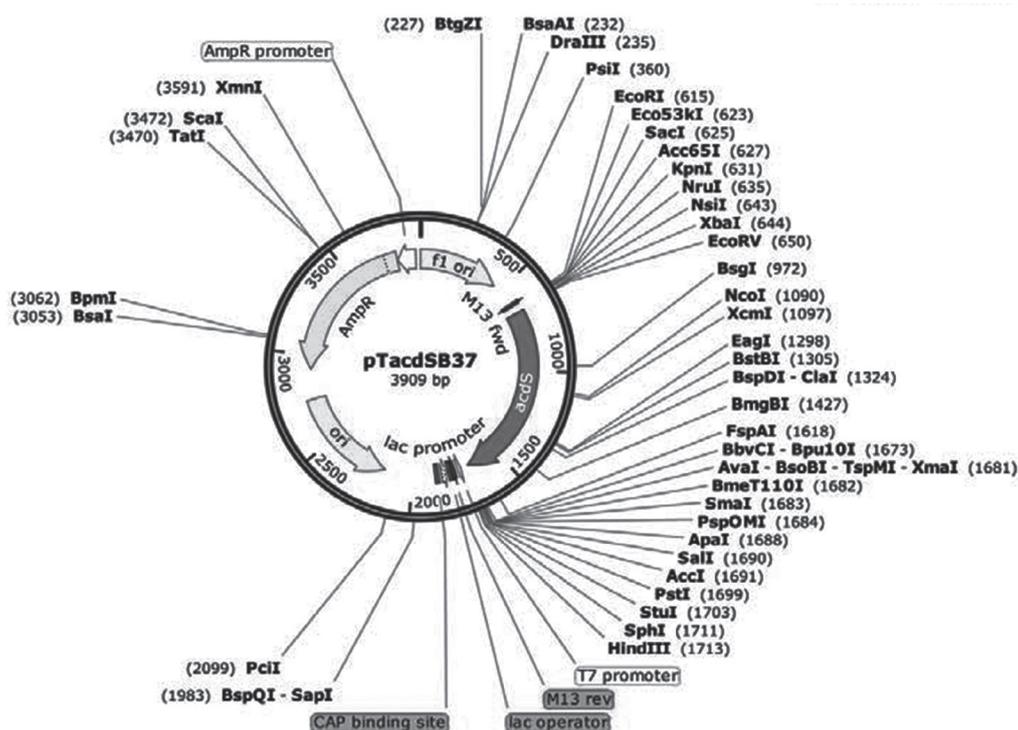


Рис. 1. Рестрикционная карта плазмиды pTacdSB37, построенная с использованием программы SnapGene [19]

Fig. 1. Restriction map of plasmid pTacdSB37, constructed using program SnapGene [19]

На сегодняшний день выделено и охарактеризовано как минимум 6 генов, которые кодируют АЦК-деаминазу у различных микроорганизмов. Большая часть из этих генов имеет структурные различия [16]. Показано, что бактериальные *acdS*-гены могут передаваться путем горизонтального переноса (как один из возможных вариантов – с помощью плазмид широкого круга хозяев) [17]. Подтверждением данного предположения является то, что АЦК-деаминазные гены у некоторых бактерий, например *R. leguminosarum*, *S. meliloti*, имеют экстрахромосомальную локализацию (на плаزمидах pRL10, pRtr514a и pSmeSM11) [18].

Фермент АЦК-деаминаза впервые выявлен в почвенных бактериях в 1978 г. [20], а кодирующий его ген выделен из *P. putida* UW4 в 1998 г. [21]. *AcdS*-ген обнаружен у большинства почвенных бактерий, таких как *E. cloacae* UW4 и *P. putida* UW4. Согласно литературным данным, АЦК-деаминаза представляет собой состоящий из мономеров молекулярной массой примерно 35–42 кДа мультимерный фермент [22], относящийся к группе ферментов, основным кофактором которых служит пиридоксаль-5-фосфат. Эти ферменты классифицируются на основе их трехмерной структуры на 4 типа: триптофан синтазы, аспартат аминотрансферазы, D-аминокислоты аминотрансферазы и аланин рацемазы. Согласно этой схеме, АЦК-деаминазы вписываются в семейство триптофан синтаз [23].

Для более детального изучения гомологии анализируемой вставки с *acdS*-геном нуклеотидную последовательность транслируемого белка конвертировали в аминокислотную, которую исследовали на наличие консервативного домена на портале NCBI. В белке, кодируемом открытой рамкой считывания данного гена, на интервале 16–324 а. о. выявлен ACCD-домен (Amipocyclopropane-1-carboxylate deaminase), относящийся к суперсемейству бета триптофан-синтаз II типа фолдинга.

Для анализа дивергенции и гомологии анализируемого белка с АЦК-деаминазами бактерий других родов и штаммов в данной работе построена филограмма по аминокислотным последовательностям (рис. 2). Известные последовательности белков АЦК-деаминазы различных бактерий рода *Pseudomonas* взяты из базы данных UniProt [24]. Полученные результаты позволяют судить о высокой степени гомологии и родства используемого в работе штамма *P. putida* B-37 с другими штаммами рода *Pseudomonas* на основании их принадлежности к одной *acdS*-группе [25].

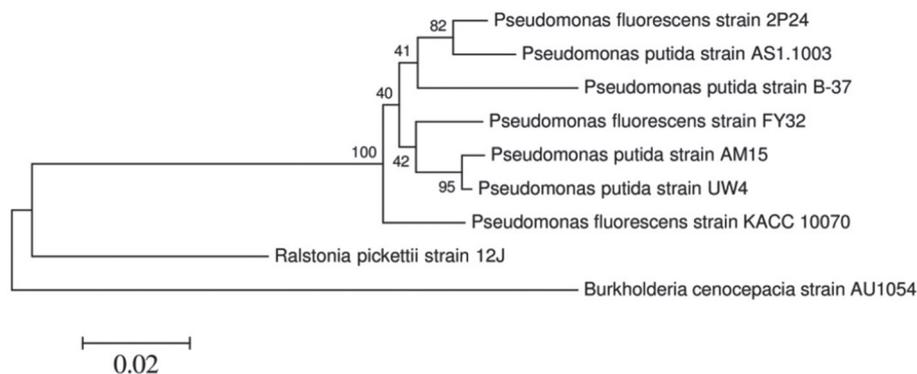


Рис. 2. Филограмма бактерий рода *Pseudomonas*, построенная с использованием программы MEGA6 [14]

Fig. 2. Phylogenetic tree of bacteria of *Pseudomonas* genus, constructed using program MEGA6 [14]

Таким образом, установленное сходство нуклеотидных последовательностей в 86–91 % и сходство полученных результатов относительно кодируемого белка с приведенными в литературе данными позволяет сделать вывод, что плаزمид, представленная на рис. 1, несет в своем составе *acdS*-ген бактерий *P. putida* B-37.

Следующим этапом нашей работы являлось получение рекомбинантных растительных клеток *N. benthamiana* с целью установления временной экспрессии исследуемого гена *acdS*. Для этого была создана генетическая конструкция, несущая ген *acdS* в составе бинарного вектора pBI121, который поддерживается в клетках бактерий и позволяет подстроить искомый ген под промотор 35S CaMV. Показано, что с его помощью возможно увеличение экспрессии гена как у однодольных, так и у двудольных растений [5]. Полученную плазмиду назвали pBI121*acdS* (представлена на рис. 3) и использовали для получения рекомбинантных клеток *A. tumefaciens* GV3101. В последующем с помощью данного штамма осуществляли инфильтрацию листовых пластин растений табака *N. benthamiana*, а штамм *A. tumefaciens* 19К, который способствовал переносу целевого гена в геном растительных клеток, использовали как вспомогательный.

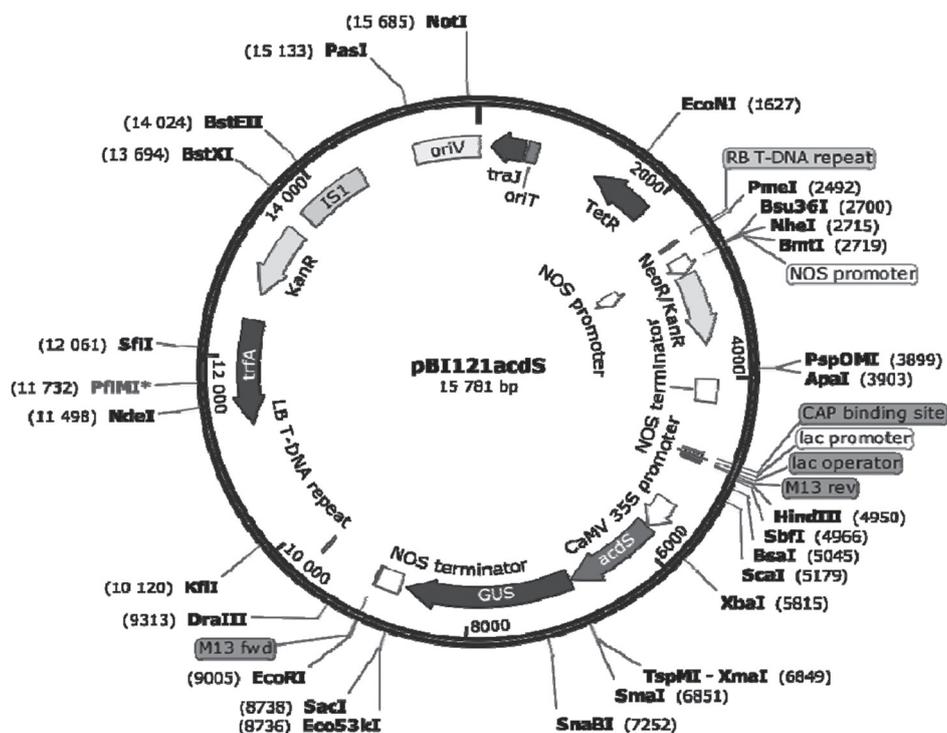


Рис. 3. Схема вектора pBI121*acdS*, несущего *acdS*-ген *P. putida* B-37 (построена с использованием программы SnapGene [19])

Fig. 3. Scheme of plasmid pTacdSB37, harboring *acdS* gene of *P. putida* B-37 (constructed using program SnapGene [19])

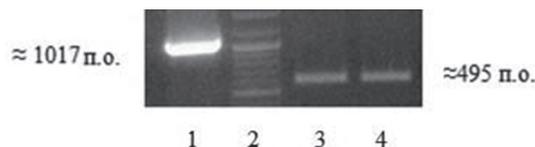


Рис. 4. Электрофоретический анализ продуктов ПЦР: 1 – фрагмент около 1000 п. н., соответствующий *acdS*-гену *P. putida* B-37, что свидетельствует об экспрессии гена *acdS* в растительных клетках; 2 – маркерная ДНК Gene Ruler 1kb DNA Ladder; 3, 4 – положительный контроль кДНК

Fig. 4. Results of PCR assay: 1 – amplification of *acdS* gene (~1000 bp) of test isolate, which verifies *acdS* gene expression in plant cells; 2 – DNA ladder mix (Gene Ruler 1kb DNA Ladder); 3, 4 – positive control of cDNA synthesis

Далее необходимо было установить наличие вставки целевого гена в геном растительной клетки и установить его экспрессию. С целью установления наличия целевого гена *acdS* в геноме растительных клеток *N. benthamiana* была построена кДНК, где в качестве матрицы для проведения ОТ-ПЦР использовали тотальную РНК, выделенную из растительных клеток. С полученной кДНК осуществлена реакция ПЦР с праймерами к нативному гену *acdS*. Результаты реакции визуализировали с помощью электрофореза в агарозном геле (рис. 4). Получен фрагмент, соответствующий *acdS*-гену, что подтверждает наличие временной экспрессии данного гена в растительных клетках. В качестве положительного контроля синтеза кДНК использовали праймеры к гену альфа субъединицы фактора элонгации транскрипции EF-1a (фрагмент размером 495 п. н.). Как и ожидалось, в отсутствие обратной транскриптазы и матрицы фрагмент размером около 1000 п. н. не выявлен. Кроме того, при постановке реакции, где в качестве матрицы для синтеза кДНК использовали РНК, выделенную из нерекомбинантных листьев табака, положительного результата также не наблюдалось (данные на рисунке не представлены).

Полученный результат позволяет сделать вывод о наличии экспрессии данного гена под контролем промотора 35S CaMV в клетках эукариот.

Заключение. Установлено, что генетическая конструкция pBI121*acdS* способна встраиваться в растительный геном и экспрессироваться в нем. Полученную генетическую конструкцию можно использовать для создания трансгенных растений, обладающих повышенной устойчивостью к стрессовым факторам среды, таким как засоление почвы и ее загрязнение солями тяжелых металлов и ароматическими углеводородами. Создание трансгенных растений, несущих бактериальный ген, кодирующий фермент АЦК-деаминазу, является высокоперспективным подходом для защиты растений от стрессовых факторов среды (как биотических, так и абиотических) и стимуляции их роста. Кроме того, такие растения могут быть использованы в сельском хозяйстве и озеленении загрязненных территорий. Главным преимуществом использования трансгенных растений может быть тот фактор, что рекомбинантные растения могут конститутивно экспрессировать целевой ген при любых условиях окружающей среды, тогда как ризобактерии, синтезирующие АЦК-деаминазу, не всегда способны обеспечить необходимый уровень фермента из-за пагубного влияния условий среды на их рост и развитие. Таким образом, применение трансгенных растений для повышения качества урожая и озеленения промышленных территорий может стать одним из современных и технологичных подходов народного хозяйства в ближайшем будущем.

Список использованных источников

- Glick, B. R. Beneficial plant-bacterial interactions / B. R. Glick. – Waterloo : Springer International Publ., 2015. – 243 p.
- Glick, B. R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world / B. R. Glick // Microbiology. – 2014. – Vol. 169, N 1. – P. 30–39.
- Ahmad, E. ACC deaminase producing *Pseudomonas putida* strain PSE3 and *Rhizobium leguminosarum* strain RP2 in synergism improves growth, nodulation and yield of pea grown in alluvial soils / E. Ahmad, M. S. Khan, A. Zaidi // Symbiosis. – 2013. – Vol. 61. – P. 93–104.
- Jacobson, C. B. Partial purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 / C. B. Jacobson, J. J. Pasternak, B. R. Glick // Can. J. Microbiol. – 1994. – Vol. 40, N 12. – P. 1019–1025.
- Глик, Б. Молекулярная биология: принципы и применение / Б. Глик ; пер. с англ. Баскаковой Н. В. [и др.] ; под ред. Янковского Н. К. – М. : Мир, 2002. – 589 с.
- AGROBEST: an efficient Agrobacterium-mediated transient expression method for versatile gene function analyses in *Arabidopsis* seedlings / H. Wu [et al.] // Plant Methods. – 2014. – Vol. 10, N 19. – Mode of access: <http://www.plantmethods.com/content/10/1/19>. – Date of access: 06.08.2016.

7. Marmur, J. A procedure for the isolation of deoxyribonucleic acid from microorganisms / J. A. Marmur // *J. Mol. Biol.* – 1961. – Vol. 3, N 2. – P. 208–218.
8. Маннитас, Т. Методы генетической инженерии : молекулярное клонирование / Т. Маннитас, Э. Фрич, Дж. Сэмбрук. – М. : Мир, 1984. – 479 с.
9. Transfection and transformation of *Agrobacterium tumefaciens* / M. Holsters [et al.] // *Mol. Gen. Genet.* – 1978. – Vol. 163. – P. 181–187.
10. SQ [Электронный ресурс] // Biosequence processor and molecular cloning aid = Процессор биологических последовательностей следующего поколения : [сайт] / SQ-project, [Минск, Респ. Беларусь]. – Mode of access: <http://www.bio.bsu.by/sq/files.html>. – Date of access: 02.04.2016.
11. BLAST. NCBI [Electronic resource]. – Mode of access: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>. – Date of access: 02.04.2016.
12. ExPASy. Translate [Electronic resource]. – Mode of access: <http://web.expasy.org/translate/>. – Date of access: 02.04.2016.
13. NCBI. Conserved Protein Domain Family [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/cdd/cddsrv.cgi?hs1f=1&uid=cd00640&#seqhrch>. – Date of access: 02.04.2016.
14. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0 [Electronic resource] / Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. // *MEGA: Molecular Evolutionary Genetics Analysis. Publications.* – Mode of access: <http://www.megasoftware.net/citations>. – Date of access: 02.04.2016.
15. Feklistova I. N. Effect of cultivation conditions on the production of phenazines in *Pseudomonas aurantiaca* B-162 // *Biodiversity. Ecology. Evolution. Adaptation : Materials of Intern. Sci. Conf. in Odessa, March 28–April 1, 2005.* – Odessa, 2005. – P. 159.
16. Evidence for horizontal gene transfer (HGT) of ACC deaminase genes / N. Hontzas [et al.] // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2005. – Vol. 71, N 11. – P. 7556–7558.
17. Promotion of Plant Growth By Bacterial ACC Deaminase / B. R. Glick [et al.] // *Critical Rev. in Plant Sci.* – 2007. – Vol. 26. – P. 227–242.
18. Sequence analysis of the 144-kilobase accessory plasmid pSmeSM11a, isolated from a dominant *Sinorhizobium meliloti* strain identified during a long-term field release experiment / M. Stiens [et al.] // *Appl. and Environ. Microbiol.* – 2006. – Vol. 72, N 5. – P. 3662–3672.
19. Snap Gene [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.snapgene.com/>. – Date of access: 07.03.2017.
20. Transcriptional regulation of ACC deaminase gene expression in *Pseudomonas putida* UW4 (aminocyclopropane-1-carboxylate) / Z. Cheng [et al.] // *Can. J. Microbiol.* – 2008. – Vol. 54, N 2. – P. 128–136.
21. Duan, J. 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase genes in Rhizobia: isolation and characterization [Electronic resource] : A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Science in Biology / J. Duan. – Waterloo, 2007. – Mode of access: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/3003/Thesis_4th_for%20submission.pdf?sequence=1&isAllowed=y. – Date of access: 15.04.2017.
22. Glick, B. R. Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase / B. R. Glick // *FEMS Microbiol. Lett.* – 2005. – Vol. 251. – P. 1–7.
23. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria / B. R. Glick [et al.] // *Eur. J. of Plant Pathol.* – 2007. – Vol. 119. – P. 329–339.
24. UniProt [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.uniprot.org/>. – Date of access: 02.04.2016.
25. Phylogeny of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-encoding gene *acdS* in phyto-beneficial and pathogenic Proteobacteria and relation with strain biogeography / D. Blaha [et al.] // *FEMS Microbiol. Ecol.* – 2006. – Vol. 56. – P. 455–470.

References

1. Glick B. R. *Beneficial plant-bacterial interactions*. Waterloo, Springer International Publ., 2015. 243 p.
2. Glick B. R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiology*, 2014, vol. 169, no. 1, pp. 30–39. doi:10.1016/j.micres.2013.09.009.
3. Ahmad E., Khan M. S., Zaidi A. ACC deaminase producing *Pseudomonas putida* strain PSE3 and *Rhizobium leguminosarum* strain RP2 in synergism improves growth, nodulation and yield of pea grown in alluvial soils. *Symbiosis*, 2013, vol. 61, pp. 93–104.
4. Jacobson C. B., Pasternak J. J., Glick B. R. Partial purification and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Canadian Journal of Microbiology*, 1994, vol. 40, no. 12, pp. 1019–1025.
5. Glick B. *Molecular biology: principles and applications*. Translation from English Baskakovi N. V. et al., in Iankovskii N. K. (ed.). Moscow, Mir, 2002. 589 p. (in Russian).
6. Wu H. Y., Liu K. H., Wang Y. H., Wu J. F., Chiu W. L., Chen C. Y., Wu S. H., Sheen J., Lai E. M. AGROBEST: an efficient *Agrobacterium*-mediated transient expression method for versatile gene function analyses in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Methods*, 2014, vol. 10, no. 19. Available at: <http://www.plantmethods.com/content/10/1/19> (accessed 06.08.2016). doi: 10.1186/1746-4811-10-19.
7. Marmur J. A. Procedure for the isolation of deoxyribonucleic acid from microorganisms. *Journal of Molecular Biology*, 1961, vol. 3 no. 2, pp. 208–218.
8. Маннитас Т., Фрич Е., Сембрук Д. *Methods of genetic engineering: molecular cloning*. Moscow, Mir, 1984. 479 p. (in Russian).

9. Holsters M., de Waele D., Depicker A., Messens E., van Montagu M., Schell J. Transfection and transformation of *Agrobacterium tumefaciens*. *Molecular Genetics and Genomics*, 1978, vol. 163, pp. 181–187.
10. SQ. Biosequence processor and molecular cloning aid, SQ-project (2016). Available at: <http://www.bio.bsu.by/sq/files.html> (accessed 02.04.2016). (in Russian).
11. BLAST. NCBI. (2016). Available at: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (accessed 02.04.2016).
12. ExPASy. Translate (2016). Available at: <http://web.expasy.org/translate/> (accessed 02.04.2016).
13. NCBI. Conserved Protein Domain Family (2016). Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Structure/cdd/cddsrvcgi?hslf=1&uid=cd00640&#seqhrch> (accessed 02.04.2016).
14. Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 6.0. *MEGA: Molecular Evolutionary Genetics Analysis. Publications*. Available at: <http://www.megasoftware.net/citations> (accessed 02.04.2016).
15. Feklistova I. N. Effect of cultivation conditions on the production of phenazines in *Pseudomonas aurantiaca* B-162. *Materials of International Scientific Conference "Biodiversity. Ecology. Evolution. Adaptation"*. Odessa, 2005, p. 159.
16. Hontzeas N., Richardson A.O., Belimov A., Safronova V., Abu-Omar M. M., Glick B. R. Evidence for horizontal gene transfer (HGT) of ACC deaminase genes. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, vol. 71, no. 11, pp. 7556–7558.
17. Glick B. R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J., McConkey B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2007, vol. 26, pp. 227–242.
18. Stiens M., Schneiker S., Keller M., Kuhn S., Pühler A., Schlüter A. Sequence analysis of the 144-kilobase accessory plasmid pSmeSM11a, isolated from a dominant Sinorhizobium meliloti strain identified during a long-term field release experiment. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, vol. 72, no. 5, pp. 3662–3672.
19. Snap Gene (2016). Available at: <http://www.snapgene.com/> (accessed 02.04.2016).
20. Cheng Z., Duncker B., McConkey B., Glick B. R. Transcriptional regulation of ACC deaminase gene expression in *Pseudomonas putida* UW4 (aminocyclopropane-1-carboxylate). *Canadian Journal of Microbiology*, 2008, vol. 54, no. 2, pp. 128–136.
21. Duan, J. 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase genes in Rhizobia: isolation and characterization [Electronic resource] : A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Science in Biology. Waterloo, 2007. Available at: https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/3003/Thesis_4th_for%20submission.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed 15.04.2017).
22. Glick B. R. Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme ACC deaminase. *FEMS Microbiology Letters*, 2005, vol. 251, pp. 1–7.
23. Glick B. R., Cheng Z., Czarny J., Duan J. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal of Plant Pathology*, 2007, vol. 119, pp. 329–339.
24. UniProt (2016). Available at: <http://www.uniprot.org/> (accessed 02.04.2016).
25. Blaha D., Prigent-Combaret C., Mirza M. S., Moënne-Loccoz Y. Phylogeny of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-encoding gene *acdS* in phytobeneficial and pathogenic Proteobacteria and relation with strain biogeography. *FEMS Microbiology Ecology*, 2006, vol. 56, pp. 455–470.

Информация об авторах

Мельникова Аlesia Андреевна – аспирант, мл. науч. сотрудник. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: alesiamelnikava@gmail.com.

Волкова Дарья Сергеевна – студент. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: 95volkovads@gmail.com.

Храмцова Елена Аркадьевна – канд. биол. наук, доцент. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: elenakhramtsova@inbox.ru.

Information about the authors

Alesia A. Melnikava – Postgraduate student, Junior researcher. Belarusian State University (Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alesiamelnikava@gmail.com.

Darya S. Volkava – Student. Belarusian State University (Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 95volkovads@gmail.com.

Elena A. Khramtsova – Ph. D. (Biol.), Assistant Professor. Belarusian State University (Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elenakhramtsova@inbox.ru.

Для цитирования

Мельникова, А. А. Характеристика *acdS*-гена бактерий *Pseudomonas putida* B-37 и создание генетической конструкции для определения его транзientной экспрессии в растительных клетках *Nicotiana benthamiana* / А. А. Мельникова, Д. С. Волкова, Е. А. Храмцова // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 61–68.

For citation

Melnikava A. A., Volkava D. S., Khramtsova E. A. Characteristics of bacterial *acdS*-gene from the strain *Pseudomonas putida* B-37 and the creation of a genetic construct for determining its transient expression in the plant cells *Nicotiana benthamiana*. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 61–68.

Shabnam G. Farahani¹, A. Wojtal-Frankiewicz², P. Frankiewicz², Zh. Buseva¹

¹*Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

²*University of Lodz, Lodz, Republic of Poland*

ANALYSIS OF INDIVIDUAL CLADOCERA AND COPEPODS FROM MESOTROPHIC LAKE USING THE PHENOM PROX-SEM/EDS

The stoichiometric analysis of Cladocera and Copepods from four different habitats of Obsterno mesotrophic lake in Belarus have been conducted in September 2016 using a method based on X-ray microanalysis, Phenom Prox Scanning Electron Microscope (SEM) with an elemental detection system (EDS), for measurement of atomic weight fractions of carbon, nitrogen and phosphorus elements in a designated area of zooplankton tissues. Phenom Prox SEM/EDS provided atomic weight percent of C:N, C:P, N:P ratios for Cladocera in pelagial, rush beds and nymphaea and for Copepods in pelagial, bare littoral, rush beds and nymphaea respectively. For Cladocera, the content of carbon in tissues was significantly higher in pelagial than in rush beds and nymphaea habitats ($p < 0.01$), opposite to nitrogen and phosphorous which contents were significantly lower in the pelagial ($p < 0.01$) comparing with other habitats. In the case of Copepods contents of carbon and nitrogen in their tissues did not differ between habitats. Significant among habitats differences were found for phosphorus – its content was significantly higher in Copepods from pelagial than from nymphaea habitat ($p < 0.01$). The purpose of this research is to determine the main biochemical elements content in zooplankton samples for different biotopes and to assess the elemental composition.

Keywords: elemental analysis, Cladocera, Copepods, pelagial, littoral.

Шабнам Г. Фарахани¹, А. Войталь-Франкевич², П. Франкевич², Ж. Бусева¹

¹*Научно-практический центр по биоресурсам НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Лодзинский университет, Лодзь, Республика Польша*

АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ CLADOCERA И COPEPODA МЕЗОТРОФНОГО ОЗЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PHENOM PROX-SEM/EDS

Цель данного исследования – определение содержания основных биохимических элементов в отдельных видах зоопланктона из разных биотопов мезотрофного озера и оценка стехиометрического состава зоопланктона. Стехиометрический анализ Cladocera и Copepoda из четырех различных мест обитания в литоральной и пелагической зонах озера Обстерно (Беларусь) проведен в сентябре 2016 г. с использованием метода, основанного на рентгеновском микроанализе, Phenom Prox Scanning Electron Microscope (SEM) с элементной системой обнаружения (EDS). С помощью Phenom Prox SEM/EDS определен атомный массовый процент углерода, азота и фосфора в поверхностной области тканей карапакса зоопланктона и рассчитаны соотношения C:N, C:P, N:P для Cladocera из зарослей камыша и кубышки и для Copepoda из пелагиали, чистой литорали, камыша и кубышки. Для Cladocera содержание углерода в тканях было значительно выше в пелагиали ($p < 0,01$), а содержание азота и фосфора, напротив, было ниже в пелагиали ($p < 0,01$) по сравнению с другими средами обитания. В случае с Copepoda содержание углерода и азота в их тканях не различалось в зависимости от среды обитания. Значительные различия концентраций в зависимости от места обитания обнаружены для фосфора – его содержание было значительно выше у Copepoda из пелагиали по сравнению с копеподами из кубышки ($p < 0,01$).

Ключевые слова: элементный анализ, Cladocera, Copepoda, пелагиаль, литораль.

Introduction. Since Redfield [1, 2] delineated the linkage between the plankton composition and chemistry in waters, the elemental analysis of plankton has become a focal mutable for understanding oceans and freshwaters dynamics, and a key parameter in marine biogeochemistry, limnology, phytoplankton physiology, model formulation of ecological stoichiometry and global climate change [3–7]. The Redfield ratio elicited from the gain of nutrient concentration with depth represents a mean value of plankton elemental composition, and can alter accordingly with changes in the planktonic community [1]. A review of the current literature illustrates that this ratio spans at least one order of magnitude [4] and alternates at two levels: differences between species and larger taxonomic groups, and phenotypic variation between populations that are habituated to different physical or chemical parameters [5, 8].

It conforms that phytoplankton elemental stoichiometry is a good ecophysiological indicator for modeling and detecting variations in water biogeochemistry and plankton dynamics, but precise measurements of this parameter in the natural environment is the main requirement. It conforms that phytoplankton elemental stoichiometry is a good ecophysiological character for modeling and detecting variations in water biogeochemistry and plankton dynamics but precise measurements of this parameter in the natural environment is the main requirement.

Zooplankton grazing on phytoplankton can transfer more than 50 % of carbon fixed by primary production to higher trophic levels [9]. Zooplankton excretion strongly influences trophic dynamics in freshwater ecosystems by contributing inorganic N and P for primary and bacterial production [10–12]. Estimates of the fraction of N and P regenerated by zooplankton and then utilized by phytoplankton range from 14 to 50 % [13–15]. The main factors controlling this fraction include temperature, zooplankton and phytoplankton biomass and species composition. Because these factors interact dynamically, it has been difficult to quantify the role of zooplankton in nutrient cycling. Ecological stoichiometry deals with the patterns and processes associated with the chemical content of species. The aim of this study was to determine the differences in the stoichiometry (C, N, and P content as well as C:N, C:P, N:P ratios) of Cladocera and Copepods, as the dominant systematic groups of Obsterno lake, inhabited four different habitats of this ecosystem: pelagial, littoral, rush beds and nymphaea. Our analysis may provide insight into topics like nutritional and energetic status of different types of lake's habitats, as well as planktonic trophic interactions.

Material and methods. The study area was the mesotrophic Lake Obsterno, which is located in the south of Miory district of Vitebsk region (north-west of Belarus). Its maximum and mean depths are 12 and 5 m. The zooplankton samples were collected in September 2016, from three littoral zones (approximate depth of 1.2–1.5 m) and one pelagic station (depth of 5 meters) using GPS coordinates. During sampling there were no wind and no wave in lake and transparency amounted 4 meters. In littoral 3 stations were chosen: one from the open water including open sandy intertidal zone covering *Chara sp.* (clean littoral) and two among the macrophytes – one of them with common rush beds (*Schoenoplectus lacustris*), and the second one among nymphaea (*Nuphar lutea*), extending from the bottom to the surface (in pelagic zone – once and other three stations two/three times) in order to filter water. This volume for pelagial, clean littoral, rush beds and nymphaea were respectively 206.06, 235.5, 105.13 and 168.9 liters. Also collecting zooplankton samples was carried out via tow net with 25 cm diameter and 100 μ m mesh size and fixed in ethanol 95 % to measure elemental analysis. Previously, we checked fresh zooplanktons with fixing ones and measured them via EDS, after seeing no difference between samples, ethanol was chosen as a fixative.

All biotope sample collections were taken once a day in 3 replicates at 10 – 12 a. m., then fixed by 4 % formalin solution transformed to the lab in order to define the species composition. Taxonomic identification was performed under a stereo microscope MBS-10. Simultaneously the samples for the analysis of carbon, nitrogen and phosphorus content in zooplankton tissues have been prepared. EDS analyzer uses an energy-dispersive spectrometer detector that simultaneously identifies and quantifies not only the most important elements in marine and freshwater ecology such as C, N and P, but also O, Mg, Na, Al, Si, S, Cl, K, and Ca that are present on single natural cells or tissues. This technique has been available for more than 20 years for determining elemental composition in marine and freshwater phytoplankton [16–18] and bacterioplankton [19, 20] used successfully to analyze the complete elemental composition of single marine bacteria and cyanobacteria [21, 22], [18] too. Elemental analysis were performed using a Phenom ProX desktop scanning electron microscope (LOT-QuantumDesign) equipped with a thermionic CeB6 source and a high sensitivity multi-mode backscatter electron (BSE) detector, 15 Kv EHT (primary-beam energy) for animals with ≤ 1.5 mm length. Finally 26 Cladocera and Copepods were used for analysis. For each animal five homogeneous zones of the same area was determined for the detection of three major elements: atomic carbon (% C), atomic nitrogen (% N) and atomic phosphorus (% P). For some under detection phosphorus atomic ratios, an amount of < 0.2 % has been considered for atomic weight fractions. Moreover, fixation and dehydration, critical point drying, coating with gold and using sputter coater image processing (software Scandium) was done in order to make a SEM pictures of the zooplankton individuals. Analysis using Phenom Prox Scanning Elektron

Microscope (SEM) with an elemental detection system (EDS), were conducted at Faculty of Biology and Environmental Protection University of Lodz, Department of Applied Ecology in December 2016.

Results and discussion. All statistical analyses were conducted using Statistica 12.0 (StatSoft, Inc; license of Faculty BEP UL: JPZP605E651727AR-T). Elemental atomic ratios were estimated as the average of individual ratios in a given population. To test for the effect of habitat type on the animals' stoichiometry, a one-way ANOVA was used with Tukey post hoc test. The dominant species in the respective habitats were determined by the mentioned abundance percentage of total zooplankton community, as follow: a) in bare littoral: *Eudiaptomus graciloides* 38.83 %, *Diaphanosoma brachyurum* 12.62 %, *Thermocyclops oithonoides* 10.67 % and *Mesocyclops leuckarti* 10.67 %; b) in pelagial: *Eudiaptomus graciloides*. 56.39 % and *D. brachyurum* 19.30 %; c) in rushbeds: *Allonella sp.* 24.48 %, *Ceriodaphnia pulchella* 20.91 %, *Thermocyclops oithonoides* 16.32 % and *Mesocyclops leuckarti* 9.18 %; d) in nymphae: *Bosmina sp.* 25.19 %, *C. pulchella* 18.89 %, *Allonella sp.* 16.19 %, *Thermocyclops oithonoides* 10.79 % and *M. leuckarti* 6.29 %. According to the statistical analysis atomic weight fractions of carbon and nitrogen in tissues of Copepods did not differ between habitats (Fig. 1, 2). Significant differences among habitats were found in the case of phosphorus ($F_{3,61} = 4.56; p < 0.01$). Its content was significantly higher in tissues of Copepods from pelagial than from nymphae habitat (Fig. 3).

Table 1. Atomic weight ratios for individuals of Cladocera in different habitats

Cladocera	C:N	N:P	C:P
Pelagial	2.41:1	106.24:1	245.46:1
Rush beds	1.53:1	76.47:1	109.61:1
Nymphae	1.34:1	123.36:1	158.9:1

Table 2. Atomic weight ratios for individuals of Copepods in different habitats

Copepods	C:N	N:P	C:P
Pelagial	1.50:1	54.94:1	80.97:1
Bare littoral	1.27:1	87.30:1	110.75:1
Rush beds	1.08:1	123.92:1	123.92:1
Nymphae	1.36:1	115.5:1	144.4:1

In the case of Cladocera contents of all three elements differed significantly among habitats ($F_{2,26} = 11.62, p < 0.001$; $F_{2,26} = 12.54, p < 0.001$ and $F_{2,28} = 7.46, p < 0.01$ for carbon, nitrogen and phosphorus, respectively). Content of carbon in tissues of Cladocera from pelagial was significantly higher than those from other two habitats. In turn carbon contents did not differ between Cladocera from nymphaea and rush beds habitats (Fig. 1).

Analysis of atomic nitrogen in tissues of Cladocera revealed that content of nitrogen as significantly lower in pelagial than those in other two habitats. Similarly as in the case of carbon nitrogen contents did not differ between nymphaea and rush beds habitats (Fig. 2).

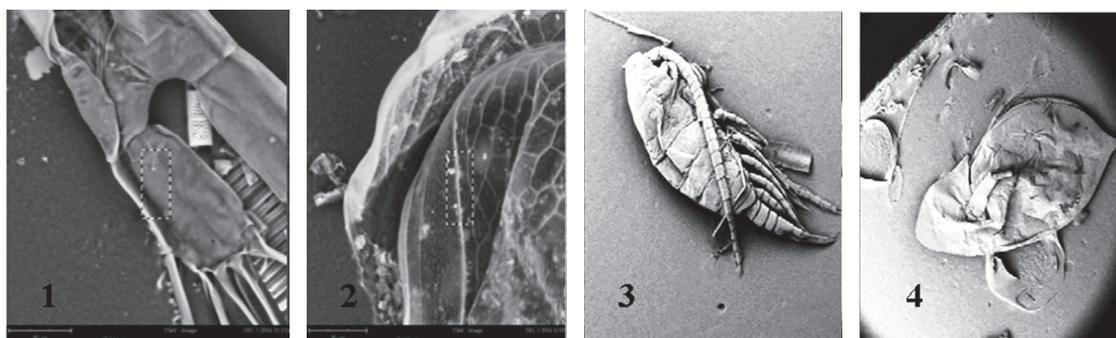


Fig. 1. The zones of elements' detection in Copepod and Cladocera (1 and 2). SEM pictures of individual Copepod and Cladocera (3 and 4)

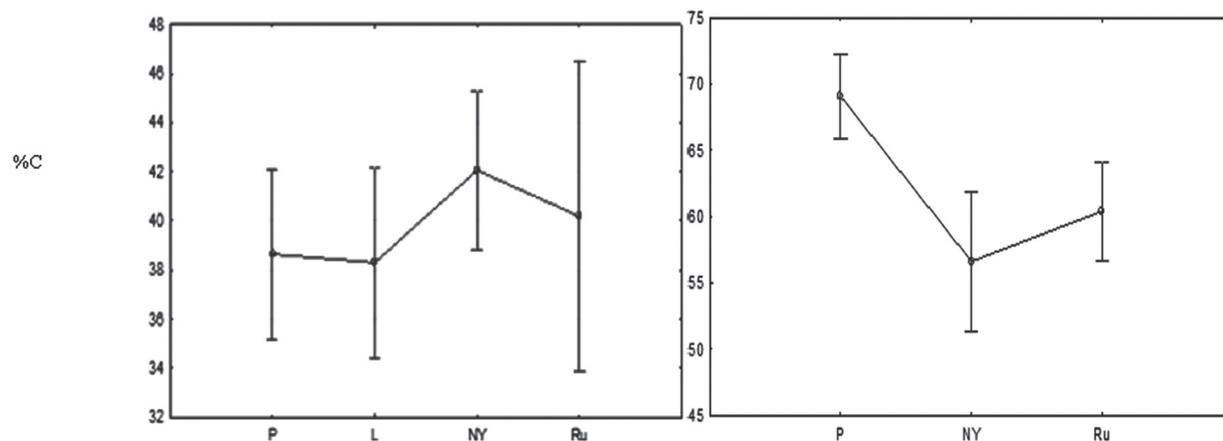


Fig. 2. Atomic carbon percent: A) in tissues of Copepod from pelagial, littoral, nymphaea, rushbeds and B) in tissues of Cladocera from pelagial, nymphaea and rushbeds

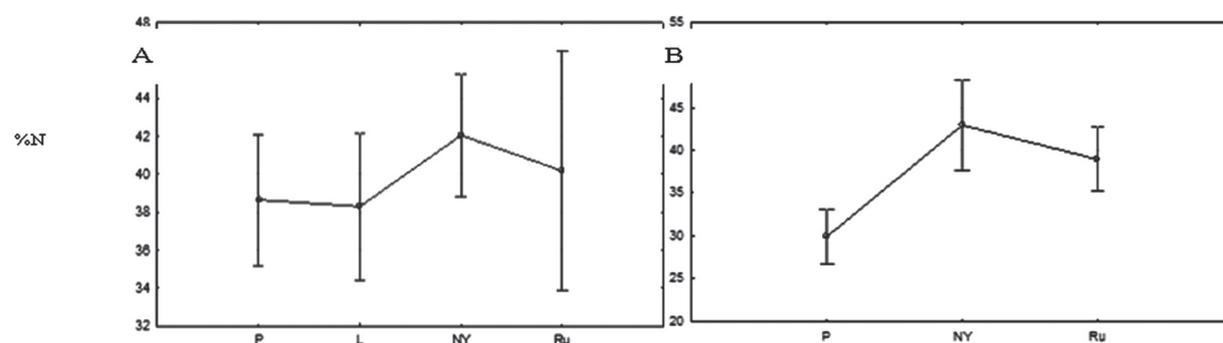


Fig. 3. Atomic nitrogen percent: A) in tissues of Copepod from pelagial, littoral, nymphaea, rushbeds and B) in tissues of Cladocera from pelagial, nymphaea and rushbeds

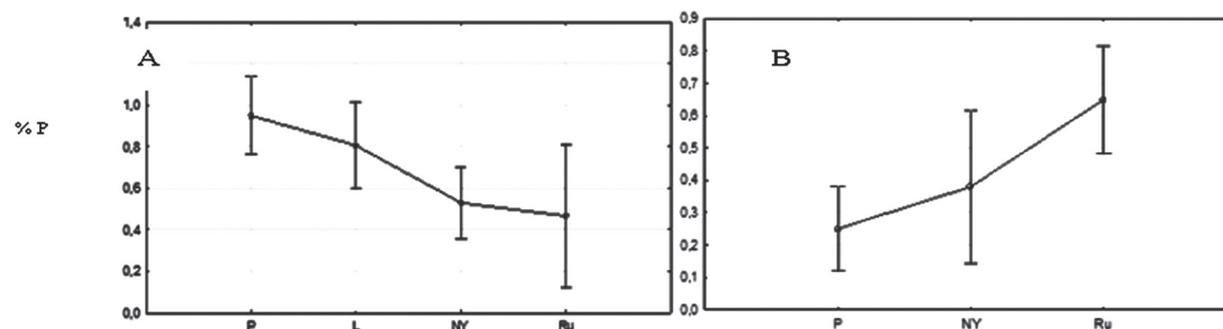


Fig. 4. Atomic phosphorus percent: A) in tissues of Copepod from pelagial, littoral, nymphaea, rushbeds and B) in tissues of Cladocera from pelagial, nymphaea and rushbeds

Statistical analysis of phosphorus in tissues of Cladocera showed that its content was significantly higher in rush beds than in pelagial (Fig. 3). Other differences were not significant. The phosphorus content was more variable than the nitrogen content in our Copepods (Fig. 2, 3). However no significant difference among Copepods has been found.

Stoichiometric analysis of Cladocera and Copepods has been investigated mostly for pelagial and trophogenic layer of the lakes where filtrators (and partially predators) are usually dominant species. In our survey, pelagic Cladoceran species in fall was *D. brachyurum* which is a typical planktonic species but for pelagic and littoral Copepods, *Eudiaptomus graciloides* has been developed because of similar conditions in these two biotopes including lack of macrophytes and interconnection of water. In rush beds and nymphaea because of detritus presence and death of macrophytes, planktobentic species have been dominated in Obsterno lake. The atomic carbon of Cladocera and Copepods revealed an accordance with Coles result [23] and Copepod (*Eudiaptomus graciloides*) carbon in pelagial (60.28 ± 5.58)

was higher than littoral (58.94 ± 8.21). As for Cladoceran dominant species (*D. brachyurum*), average atomic content of carbon in pelagial (69.07 ± 5.24) was higher than in littoral (59.14 ± 6.21).

Eudiaptomus graciloides as a dominant Copepod in pelagial (38.66 ± 5.50 %) and clean littoral (38.30 ± 9.85 %) showed the lower nitrogen rate than Copepods taken from rush beds (40.18 ± 12.01) and nymphaea beds (42.05 ± 6.36 %), in contrast, the nitrogen content of pelagic Cladocera (29.90 ± 5.15 %) revealed the lower ratio than nymphaea beds (42.96 ± 4.53 %) and rush beds (38.95 ± 6.96 %) which was caused by *C. pulchella* as dominants consuming nitrogen and saving it in their tissues but with less carbon. Cole [23] showed that atomic carbon for Cladocera (up to 30%) substantially was higher than Copepod (from 10–30 %) as well as ours. It could be due to deep feeding by vertically migrating zooplankton and consumption of detritus of algal but for nitrogen, the higher rate was reported for *Eudiaptomus graciloides* sp because of feeding on a higher trophic level than feeding on different basal food sources or both. As for our result, atomic carbon for Cladocera and nitrogen for Copepods were higher that was completely in agreement with Coles result but more sophisticated approach may be needed for future to achieve more precise results for secondary consumers.

Storage of elements especially P is relatively well-studied in some organisms. Less is known about elemental storage in many metazoans. It's known that freshwater zooplankton may acquire or assimilate modest amounts of P in excess of immediate growth demands over short time scales. In our research, P amount of pelagic Copepods in fall was higher than pelagic Cladocera – it could be due to *Eudiaptomus* which is a longliving zooplankton and saves more energy for resting period in comparison with Cladocera. Zooplankton has a relatively constant, species-specific C:N ratio [24]. Our survey revealed that in pelagial zone where owns the highest zooplankton abundance of Copepod species (*Eudiaptomus graciloides*), has relatively high C:N ratio in comparison with the other habitats where dominant Copepods' species were different from pelagial. Thus, it seems that *Diaptomidae* store more carbon and less nitrogen. This could be due to high energy cost on many physiological processes or as Cole [23] reported for *Diaptomus* sp because of feeding on a higher trophic level than feeding on different basal food sources or both. According to Speas and Duffies [25] research, *Daphnia* is not significant to its C balance because there is an evidence that some zooplankton, especially Cladocera, will ingest numerous kinds of particles but this C balance controlling Cladocera is still unclear in our investigate because different species were dominated in fall in Lake Obsterno. On the other side, *Daphnia* has an especially low N:P compared to all other zooplankton so far measured. This caused the low N:P ratios of rushbeds Cladocera as well as C:P. We conclude that taxon-specific differences in the N:P ratio in these species are mostly attributable to differences in P content. Despite a known wide variation in the elemental ratios in their food, the N and P-content of individual zooplankton species show a remarkably stable N:P ratio in Cladocerans from pelagial and littoral. Tamelander [26] by their investigation on Copepod and vertical flux of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus mentioned that sinking of large zooplankton provides an important mechanism for removing phosphorus from the water column. The relative importance of this pathway is that smaller, slower-sinking food is recycled faster in water column. As for our data, mean size of pelagic zooplankton (0.95 mm) is larger than littoral (0.54 mm) and accordingly, removing phosphorus is (or might be) more than littoral. Enhancing in *Daphnia* biomass occurring most strongly in lakes with low particulate C:P as well as our C:P ratio in littoral with *Ceriodaphnia pulchella* and *Thermocyclops. oithonoides* as dominant species [27]. In contrast, [28] found that increasing the food C: P ratio produced greater DOC release by *Daphnia*. In zooplankton, little variability in C:N:P ratios was originally reported within taxonomic groups, and large differences were found among taxa [29, 30]. Interspecific differences in zooplankton elemental composition can be explained at complementary levels that link organismal physiology and evolution [31, 32]. Interspecific variation in zooplankton body C:N:P ratios reflect the relative contribution of primary cellular biomolecules and different life-history strategies that result from costs associated with maintaining P-rich body stoichiometry [31],[33].

Atomic C:N, C:P and N:P of some marine planktonic Copepods in fall [34] in comparison with our data were respectively 5.7 ± 0.5 , 114 ± 34 , 20 ± 6 and 1.08 – 1.50 , 80.97 – 144.4 , 54.24 – 123.92 . C:N ratios in Copepods are relatively low. High trophic level species such as *Eudiaptomus graciloides* experience a variable physical and trophic environment, thus some species accumulate lipids during periods of high

food abundance, rest during winter, and invest the stored lipids in reproductive tissue in winter the following year. Less lipid is used for basal metabolism through the winter [35]. This is reflected in high C:N ratios during summer but low C:N ratios during autumn up to the spring bloom [36, 37]. On the other side, the female Copepods as we had in our samples, can display low, and fairly rigid, C:N ratios indicating that their preadult lipid stores were allocated to moulting and reproduction. Species composition of the zooplankton compartment is important for the N and P allocated in zooplankton biomass. C:N:P ratios in algae only approach Redfield ratios when algae grow at near maximum rates [38, 39]. This affects Copepod food intake, and preferences for fast growing algae [40] may pay off as an increase in fecundity [39]. The composition of the zooplankton community will affect the distribution of nutrients in the food web, as the elemental composition differs among zooplankton taxa. The N:P ratios differ between trophic levels. C:N and C:P ratios in carnivorous zooplanktons such as *Diaptomidae* is low compared to its zooplankton food [41, 42]. This concomitantly higher demand for nitrate- and phosphorus-rich food at higher trophic levels indicates that more N and P compared to C may be retained in organic material, and less is regenerated as inorganic nutrients. Cladocera in marine systems do not have the same unique position as their freshwater relatives, but can be abundant in surface layers. Cladocera analysed in Gismervik's study displayed low C:P ratios of 59 ± 22 and 34 ± 5 , respectively which is in contrast with our freshwater Cladocera (C:P from 109 to 245 in pelagial and littoral) [34].

Hall [43] found that zooplankton body composition did not consistently explain the distribution of different species along a P-supply gradient. They concluded that body P content was only a poor predictor of the animal's nutrient demand, as this demand is also affected by the assimilation efficiency for the different elements and respiration rates. However, it was shown that consumer nutrient content correlates strongly with threshold elemental ratios which include respiration losses and assimilation efficiencies to define the ratio of two elements where the limitation switches from one to the other [44]. Thus, the use of body C:N:P ratios may be well applicable to indicate nutrient demand across species.

As a conclusion, the body content of P, N, and C in consumers is one indicator of their demands for these elements. Because the C:N:P ratios of many littoral planktons remain unknown, there is yet little basis to apply recent developments in ecological stoichiometry to studies of ecological processes in littoral systems [45, 46]. Also using a Phenom ProX SEM/EDS method that can be applied to a wide range of ecosystems, we found significant differences in stoichiometry of pelagic zooplankton compare with littoral. The literature reports a range in CNP atomic ratios for zooplankton among habitats and taxa. Zooplankton are selective feeders, some taxa more than others, and phytoplankton is usually a preferred food. As methods improve and more studies are conducted, we expect considerable variation in support of consumers, which should lead to the development of models that explain this variation among ecosystems. Further, improved stable isotopes in food web such as $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ that better incorporate uncertainty in sources and to estimate the relative contribution of diet sources to food web compartments will likely aid in producing better models.

Acknowledgments. We thank professor Vitaliy Semenchenko for his scientific advices and we are grateful for the collaboration from Faculty of Biology and Environmental Protection University of Lodz and Academy of Sciences of Belarus for its support.

References

1. Redfield A. C. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. *James Johnstone Memorial Volume*, University Press of Liverpool, Liverpool, 1934, pp. 170–192.
2. Redfield A. C. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 1958, vol. 46, no. 3, pp. 205–221.
3. Elser J. J., O'Brien W. J., Dobberfuhl D. R., Dowling T. E. The evolution of ecosystem processes: growth rate and elemental stoichiometry of a key herbivore in temperate and arctic habitats. *Journal of Evolutionary Biology*, 2000b, no. 13, pp. 845–853. doi: 10.1046/j.1420-9101.2000.00215.x.
4. Evans M. S., Eadie B. J., Glover R. M. Sediment trap studies in southeastern Lake Michigan: Fecal pellet express or the more traveled route? *Journal of Great Lakes Research*, 1998, vol. 24, iss. 3, pp. 555–568.
5. Quigg A. The evolutionary inheritance of elemental stoichiometry in marine plankton. *Nature*, 2003, vol. 425, pp. 291–294. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nature01953> PMID:13679916.

6. Lenton T. M., Klausmeier K. Biotic stoichiometry controls on the deep ocean N:P ratio. *Biogeosciences*, 2007, no. 4, pp. 353–367.
7. Flynn K. J. Ecological modeling in a sea of variable stoichiometry: Dysfunctionality and the legacy of Redfield and Monod. *Journal of Progress in Oceanography*, 2010, vol. 84, iss. 1/2, pp. 52–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2009.09.006>.
8. Quigg A., Irwin A. J., Finkel Z. V. Evolutionary imprint of endosymbiosis of elemental stoichiometry: testing inheritance hypotheses. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*, 2010, vol. 278, pp. 526–534. doi:10.1098/rspb.2010.1356.
9. Hart D. R., Stone L., Berman T. Seasonal dynamics of the Lake Kinneret food web: the importance of the microbial loop. *Limnology and Oceanography*, 2000, vol. 45, iss. 2, pp. 350–361. doi: 10.4319/lo.2000.45.2.0350.
10. Gilbert P. M. Interactions of top-down and bottom-up control in planktonic nitrogen cycling. *Hydrobiologia*, 1998, vol. 363, iss. 1/3, pp. 1–12. doi: 10.1023/A:1003125805822.
11. Vanni M. J. Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics Journal*, 2002, vol. 33, pp. 341–370. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150519>.
12. Wen Y. H., Peters R. H. Empirical models of phosphorus and nitrogen excretion rates by zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 1994, vol. 39, iss. 7, pp. 1669–1679. doi: 10.4319/lo.1994.39.7.1669.
13. Hudson J. J., Taylor W. D. Measuring regeneration of dissolved phosphorus in planktonic communities. *Limnology and Oceanography*, 1996, vol. 41, iss. 7, pp. 560–1565. doi: 10.4319/lo.1996.41.7.1560.
14. Hudson J. J., Taylor W. D., Schindler D. W. Planktonic nutrient regeneration and cycling efficiency in temperate lakes. *Nature*, 1999, vol. 400, pp. 659–661. doi: 10.1038/23240.
15. Urabe J., Nakanishi M., Kawabata K. Contribution of metazoan plankton to the cycling of nitrogen and phosphorus in Lake Biwa. *Journal of Limnology and Oceanography*, 1995, vol. 40, iss. 2, pp. 232–242. doi: 10.4319/lo.1995.40.2.0232.
16. Sigee D. C., Krivtsov V., Bellinger E. Elemental concentrations, correlations and ratios in micropopulations of *Ceratium hirundinella* (Pyrrophyta): and X-ray microanalytical study. *European Journal of Phycology*, 1998, no. 33, pp. 155–164.
17. Krivtsov V., Bellinger E. G., Sigee D. C. Changes in the elemental composition of *Asterionella Formosa* during the diatom spring bloom. *Journal of Plankton Research*, 2000, vol. 22, no. 1, pp. 169–184. doi: <https://doi.org/10.1093/plankt/22.1.169>.
18. Heldal M., Scanlan D. J., Norland S., Thingstad F., Mann N. H. Elemental composition of single cells of various strains of marine *Prochlorococcus* and *Synechococcus* using X-ray microanalysis. *Limnology and Oceanography*, 2003, vol. 48, no. 5, pp. 1732–1743.
19. Heldal M., Norland S., Tumor O. X-ray microanalytical method for measurement of dry matter and elemental concentration of individual bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 1985, vol. 50, no. 5, pp. 1251–1257.
20. Booth K. N., Sigee D. C., Bellinger E. Studies on the occurrence and elemental composition of bacteria in freshwater plankton. *Journal of Scanning Microscopy*, 1987, vol. 1, no. 4, pp. 2033–2042.
21. Norland S., Fagerbakke K. M., Heldal M. Light element analysis of individual bacteria by X-ray microanalysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 1995, vol. 61, no. 4, pp. 1357–1362.
22. Vrede K., Heldal M., Norland S., Bratbak G. Elemental composition (C, N, P) and cell volume of exponentially growing and nutrient-limited bacterioplankton. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, vol. 68, no. 6, pp. 2965–2971.
23. Cole J. J., Carpenter S. R., Kitchell J., Pace M. L., Solomon C. T., Weidel B. Strong evidence for terrestrial support of zooplankton in small lakes based on stable isotopes of carbon, nitrogen, and hydrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2011, vol. 108, no. 5, pp. 1975–1980.
24. Urabe J. N and P cycling coupled by grazers' activities: food quality and nutrient release by zooplankton. *Ecology*, 1993, vol. 74, pp. 2337–2350.
25. Speas D. W., Duffy W. G. Uptake of dissolved organic carbon (DOC) by *Daphnia pulex*. *Journal of Freshwater Ecology*, 1998, no. 13, pp. 457–463.
26. Tamelander T., Aubert A. B., Wexels Riser C. Export stoichiometry and contribution of Copepod faecal pellets to vertical flux of particulate organic carbon, nitrogen and phosphorus. *Marine Ecology Progress Series*, 2012, vol. 459, pp. 17–28.
27. Elser J. J., Chrzanowski T. H., Sterner R. W., Mills K. H. Stoichiometric constraints on food-web dynamics: a whole-lake experiment on the Canadian Shield. *Ecosystems*, 1998, no. 1, pp. 120–136.
28. Darchambeau F., Færøvig P. J., Hessen D. O. How *Daphnia* copes with excess carbon in its food. *Oecologia*, 2003, vol. 136, pp. 336–346. doi:10.1007/s00442-003-1283-7.
29. Andersen T., Hessen D. O. Carbon, nitrogen, and phosphorus content of freshwater zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 1991, no. 36, pp. 807–814.
30. Hessen D. O., Lyche A. Inter- and intraspecific variations in zooplankton element composition. *Archiv für Hydrobiologie*, 1991, vol. 121, pp. 343–353.
31. Elser J. J., Dobberfuhl D. R., MacKay N. A., Schampel J. H. Organism size, life history, and N:P stoichiometry: towards a unified view of cellular and ecosystem processes. *Bioscience*, 1996, vol. 46, pp. 674–684.
32. Dobberfuhl D. R. Elemental stoichiometry in crustacean zooplankton: phylogenetic patterns, physiological mechanisms, and ecological consequences. Ph. D. dissertation, Department of Biology, Arizona State University, Tempe, Arizona, 1999.
33. Elser J. J., Fagan W. F., Denno R. F., Dobberfuhl D. R., Folarin A., Huberty A., Interlandi S., Kilham S. S., McCauley E., Schulz K. L., Siemann E. H., Sterner R. W. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature*, 2000, vol. 408, pp. 578–580.
34. Gismervik J. Stoichiometry of some marine planktonic crustaceans. *Journal of Plankton Research*, 1997, vol. 19, no. 2, pp. 279–285.

35. Sargent J. R., Henderson R. J. Lipids. *The Biological Chemistry of Marine Copepods*, Corner E. D. S., O'Hara S. C. M., eds. Oxford, 1986, pp. 59–108.
36. Tande K. S. Ecological investigations on the zooplankton community of Balsfjorden, Northern Norway: Generation cycles, and variation in body weight and body content of carbon and nitrogen related to overwintering and reproduction in the Copepod *Calanus finmarchicus* (Gunnerus). *Journal of Experimental Marine Biology*, 1982, vol. 62, pp. 129–142.
37. Gronvik S., Hopkins C. C. E. Ecological investigation of the zooplankton community of Balsfjorden northern Norway: Generation cycle, seasonal vertical distribution, and seasonal variations in body weight and carbon and nitrogen content of the copepod *Metridia longa* (Lubbock). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1984, vol. 80, pp. 93–107.
38. Goldman J., McCarthy J. J., Peavey D. G. Growth rate influence on the chemical composition in phytoplankton in oceanic waters. *Nature*, 1979, vol. 279, pp. 210–214.
39. Kiorboe T. Phytoplankton growth rate and nitrogen content: implications for feeding and fecundity in a herbivorous copepod. *Marine Ecology Progress Series*, 1989, vol. 55, pp. 229–234.
40. Cowles T. J., Olson R. J., Chisholm S. W. Food selection by Copepods: discrimination on the basis of food quality. *Marine Biology*, 1988, vol. 100, pp. 41–49.
41. Omori M. Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. *Marine Biology*, 1969, no. 3, pp. 4–10.
42. Malej A., Faganelli J., Pezdi J. Stable isotope and biochemical fractionation in the marine pelagic food chain: the jellyfish *Pelagia noctiluca* and net zooplankton. *Journal of Marine Biology*, 1993, vol. 116, pp. 565–570.
43. Hall S. R., Leibold M. A., Lytle D. A., Smith V. H. Stoichiometry and planktonic grazer composition over gradients of light, nutrients, and predation risk. *Ecology*, 2004, vol. 85, pp. 2291–2301.
44. Frost P. C. Threshold elemental ratios of carbon and phosphorus in aquatic consumers. *Ecology Letters*, 2006, vol. 9, no. 7, pp. 774–779.
45. Frost P. C., Elser J. J. Growth responses of littoral mayflies to the phosphorus content of their food. *Ecology Letters*, 2002, no. 5, pp. 232–240.
46. Steinman A. D. Effects of grazers on freshwater benthic algae. *Algal ecology freshwater benthic ecosystems*, Stevenson R. J., Bothwell M. L., Lowe R. L. (et al.). San Diego, 1996, pp. 341–373.

Information about the authors

Shabnam G. Farahani – Postgraduate student. Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Sh.farahani1986@gmail.com.

Adrianna Wojtal-Frankiewicz – Professor, Director. University of Lodz (12/16, Banacha Str., 90-237, Lodz, Republic of Poland). E-mail: adrianna.wojtal@biol.uni.lodz.pl.

Piotr Frankiewicz – Professor. University of Lodz (12/16, Banacha Str., 90-237, Lodz, Republic of Poland). E-mail: franek@biol.uni.lodz.pl.

Zhanna F. Buseva – Ph. D. (Biol.), Senior researcher. Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: buseva_j@mail.ru.

Для цитирования

Analysis of individual Cladocera and Copepods from mesotrophic lake using the phenom PROX-SEM/EDS / Shabnam G. Farahani [et al.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 69–76.

Информация об авторах

Газерани Фарахани Шабнам – аспирант. Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Sh.farahani1986@gmail.com.

Войталь-Франкевич Адрианна – профессор, директор. Лодзинский университет (ул. Банача, 12/16, 90-237, Лодзь, Республика Польша). E-mail: adrianna.wojtal@biol.uni.lodz.pl.

Франкевич Петр – профессор. Лодзинский университет (ул. Банача, 12/16, 90-237, Лодзь, Республика Польша). E-mail: franek@biol.uni.lodz.pl.

Бусева Жанна Федоровна – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: buseva_j@mail.ru.

For citation

Shabnam G. Farahani, Wojtal-Frankiewicz A., Frankiewicz P., Buseva Z. Analysis of individual Cladocera and Copepods from mesotrophic lake using the phenom PROX-SEM/EDS. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya byyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 69–76.

Е. Н. Карасёва, Т. Г. Янчевская, Т. Б. Макарова

*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ В КЛУБНЯХ *DIOSCOREA ALATA* L., ВЫРАЩЕННОЙ
В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ**

Изучено содержание аскорбиновой кислоты и флавоноидов в клубнях диоскорей, полученных на ионообменном субстрате, модифицированном по влажности с помощью гидрогелей различного состава.

Показано, что в ионообменном субстрате, модифицированном 1 г/л крупной фракции, растения диоскорей способны накапливать наибольшее количество крахмала, сухого вещества, аскорбиновой кислоты и флавоноидов. Полученные данные могут быть использованы в практических целях.

Ключевые слова: биологически активные вещества, гидрогель, ионообменный субстрат, стрессоустойчивость, *Dioscorea alata* L.

E. N. Karaseva, T. G. Yanchevskaya, T. B. Makarova

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

**PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
DIOSCOREA ALATA L., GROWING IN THE PROTECTED SOIL**

Results on the contents of ascorbic acid and flavonoids in tuber dioscorea received on ion-exchange substrate modified humidity using hydrogels of different composition.

It was shown that the ion-exchange substrate, a modified by 1 g/l, dioscorea plants were able to accumulate the highest dry matter, starch, ascorbic acid and flavonoids that may be used for practical purposes.

Keywords: biologically active substances, hydrogel, ion exchange substrate, stress, *Dioscorea alata* L.

Введение. Большое значение для развития современной фармакологии в плане разработки новых медицинских препаратов имеют новые знания о биологических объектах, которые содержат активные в отношении целого ряда заболеваний вещества. Биологически активные вещества представляют собой органические природные, а также искусственно созданные соединения, которые оказывают разной степени специфическое воздействие на биологические процессы в организме как человека и животных, так и растений. Они могут быть продуктами первичного (витамины, жиры, углеводы, белки) и вторичного (алкалоиды, гликозиды, дубильные вещества) биосинтеза. Растения содержат комплексы биологически активных веществ (их называют действующими веществами и используют при производстве лекарственных препаратов [1–3]), однако не все из них обладают терапевтическим и профилактическим действием.

Согласно литературным данным, в составе клубней интродуцента из тропической зоны происхождения *Dioscorea* содержатся витамины, углеводы, белки, алкалоиды, гликозиды [4].

Цель работы – изучение влияния уровня минерального питания и влажности корнеобитаемой среды на изменение синтеза биологически активных соединений в клубнях и листьях растения диоскорей, адаптированной к условиям *in vivo* на ионообменном субстрате различного химического состава и агрофизических свойств.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования служили растения диоскорей (*Dioscorea alata* L.), что было обусловлено их ценными хозяйственными, фармакологическими свойствами и декоративным экзотическим видом. Черенки *Dioscorea alata* L. укореняли на биотехнических комплексах БТК-2, установленных в закрытом помещении с искусственным освещением,

на которых размещали пластиковые контейнеры размером 20×20 см² с вариантами модифицированного субстрата. Густота посадки черенков – по 5 шт. В качестве источника света использовали натриевые лампы ДНАТ-400, температуру поддерживали на уровне 20 ± 2 °С днем и 17 ± 2 °С ночью [5].

Модификацию субстрата осуществляли путем внесения определенных концентраций различных гидрогелей марки ECOFLOC A-07 (КНР) в следующих вариантах: гидрогель без удобрений крупной и мелкой фракций (варианты 1 и 2 – к/ф и м/ф соответственно), гидрогель с бентонитом (вариант 3), гидрогель с гуматом (вариант 4), гидрогель К⁺ (вариант 5, К⁺ представляет собой полиакриламид на основе калия). Гель в набухшем состоянии в концентрациях 1,0 и 0,5 г/л вносили в субстрат с товарным знаком ТРИОНА® [6, 7]. Содержание сухого вещества в сыром растительном материале определяли методом сухого остатка, т. е. без предварительного подсушивания [8].

Количество аскорбиновой кислоты оценивали спектрофотометрическим методом по реакции с 2,6-дихлорфенолиндофенолом [9].

Для количественного определения суммы флавоноидов использовали спектрофотометрический метод, основанный на реакции комплексообразования с алюминия хлоридом в среде с 95 %-ным этиловым спиртом. Сумму флавоноидов рассчитывали по удельному показателю поглощения гиперозида (Государственный стандартный образец (ГСО) ВФС 42-1088-81) [10].

Анализ полученных результатов проводили в 3–5-кратной биологической и в 3 аналитических повторностях. В ходе обработки экспериментальных данных вычисляли среднее (М), стандартную ошибку среднего (m), достоверность различий между вариантами определяли с учетом коэффициента Стьюдента (*t*) для принятого уровня значимости (*p* = 0,05).

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали прикладные пакеты программ MS Excel 2010, STATISTICA 6.0 и статистические методы, применяемые для биологических исследований [11].

Результаты и их обсуждение. Клубни получены в результате проведения полной вегетации растений диоскореи (от укоренения черенков до закладки клубней) в условиях *in vivo*. Важной физиологической характеристикой зрелости клубней являлся показатель абсолютно сухой массы клубней и содержание крахмала как конечного запасующего продукта углеводного метаболизма (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Содержание крахмала в клубнях *Dioscorea*

Table 1. Starch content in *Dioscorea* tubers

Вариант опыта	Абсолютно сухая масса, %	Содержание крахмала, %
1 г к/ф	27,03 ± 0,11	21,28 ± 0,11
0,5 г к/ф	21,01 ± 0,97	15,26 ± 0,97
1 г м/ф	16,03 ± 0,43	10,28 ± 0,43
0,5 г м/ф	19,06 ± 0,52	13,31 ± 0,52
1 г бентонита	21,90 ± 0,68	16,45 ± 0,97
0,5 г бентонита	19,55 ± 0,23	13,80 ± 0,23
1 г гумата	22,17 ± 0,42	16,42 ± 0,42
0,5 г гумата	22,28 ± 0,46	16,52 ± 0,46
1 г калия	16,03 ± 0,63	10,48 ± 0,45
0,5 г калия	18,56 ± 0,08	12,81 ± 0,08
Контроль	20,30 ± 0,58	14,55 ± 0,56

Исходя из полученных данных, наибольшее содержание крахмала в клубнях *Dioscorea* накапливалось при добавлении 1 г к/ф (в 1,5 раза выше контроля), а наименьшее – в вариантах с добавлением 1 г/л гидрогелей м/ф и К⁺. Учитывая, что в варианте с добавлением 0,5 г/л гидрогеля К⁺ происходит увеличение как сухого вещества, так и содержания крахмала, можно заключить, что клубнеобразование у растений диоскореи лимитировано избытком ионов калия. Избыток ионов наблюдался при внесении в оптимизированный по минеральному составу ионообменный субстрат Триона 1 г/л гидрогеля с К⁺, представляющего собой полиакриламид

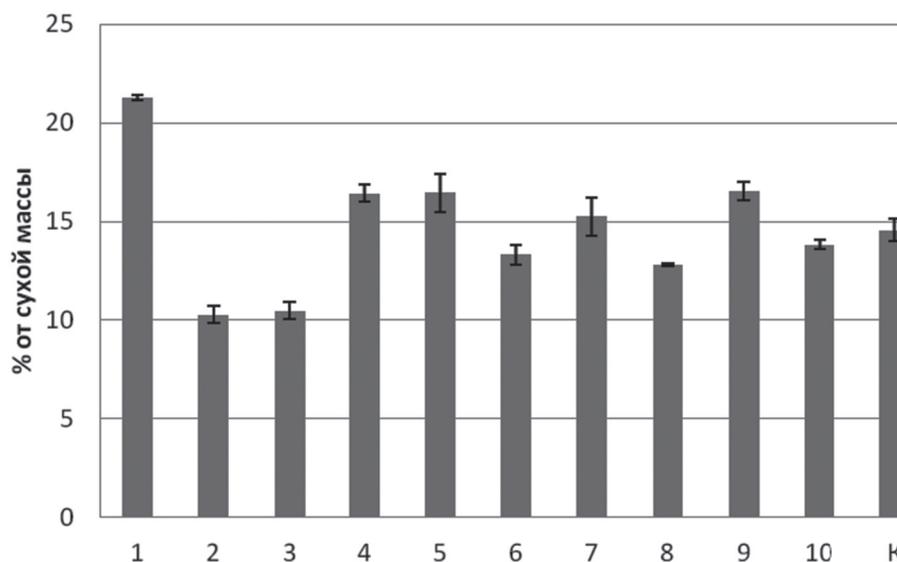


Рис. 1. Содержание крахмала в клубнях *Dioscorea*:

1 – 1 г/л гидрогеля крупной фракции; 2 – 1 г/л гидрогеля мелкой фракции; 3 – 1 г/л гидрогеля K^+ ; 4 – 1 г/л гидрогеля с гуматом; 5 – 1 г/л гидрогеля с бентонитом; 6 – 0,5 г/л гидрогеля мелкой фракции; 7 – 0,5 г/л гидрогеля крупной фракции; 8 – 0,5 г/л гидрогеля K^+ ; 9 – 0,5 г/л гидрогеля с гуматом; 10 – 0,5 г/л гидрогеля с бентонитом; К – контроль

Fig. 1. The content of starch in tubers of *Dioscorea*:

1 – 1 g/l of coarse hydrogel; 2 – 1 g/l of fine fraction hydrogel; 3 – 1 g/l of the hydrogel K^+ ; 4 – 1 g/l hydrogel with a humate; 5 – 1 g/l hydrogel with bentonite; 6 – 0.5 g/l of fine fraction hydrogel; 7 – 0.5 g/l of coarse hydrogel; 8 – 0.5 g/l of hydrogel K^+ ; 9 – 0.5 g/l hydrogel with a humate; 10 – 0.5 g/l of hydrogel with bentonite; K – control

на основе калия. Известно, что для растений картофеля, закладывающих клубни в конце вегетации, содержание K^+ в корнеобитаемой среде сильно влияет на урожай этой культуры [12]. В остальных вариантах процент содержания крахмала незначительно превышал контрольные значения (рис. 1).

Лиана *Dioscorea* относится к лекарственным растениям, применяется при лечении многих заболеваний. Наиболее эффективно на организм человека воздействуют препараты из клубней растения, содержащие комплекс антиоксидантов – витаминов и флавоноидов, а также аналоги стероидных гормонов – сапонины [13].

Нами проведены исследования по определению суммарного содержания флавоноидов у вида *Dioscorea alata*.

Известно, что биологическое действие флавоноидов разнообразно: они участвуют в регуляции окислительно-восстановительных процессов, стабилизации клеточных мембран, модуляции активности ферментов и рецепторов [13–15]. На сегодня определен спектр действия этих соединений в организме человека: капилляроукрепляющее, спазмолитическое, антистрессовое, противовоспалительное, антигрибковое, антибактериальное, противовирусное, противовязвенное, антитоксическое, антиаллергическое, антиатеросклеротическое, антиаритмическое, антигипертензивное, иммуномодулирующее, антиканцерогенное, нефропротекторное, эстрогеноподобное, гепатопротекторное [2]. Свойства флавоноидов обуславливают широкие возможности их использования в качестве лекарственных средств, не оказывающих, в отличие от синтетических аналогов, серьезных побочных эффектов.

Согласно полученным данным (табл. 2, рис. 2), общее содержание флавоноидов во всех вариантах значительно превышало аналогичный показатель в контроле (в 1,6–3,9 раза). При этом наибольшее содержание флавоноидов наблюдалось у растений, выросших на субстрате, модифицированном по влажности 1 г/л м/ф, 1 г/л бентонита и 0,5 г/л к/ф.

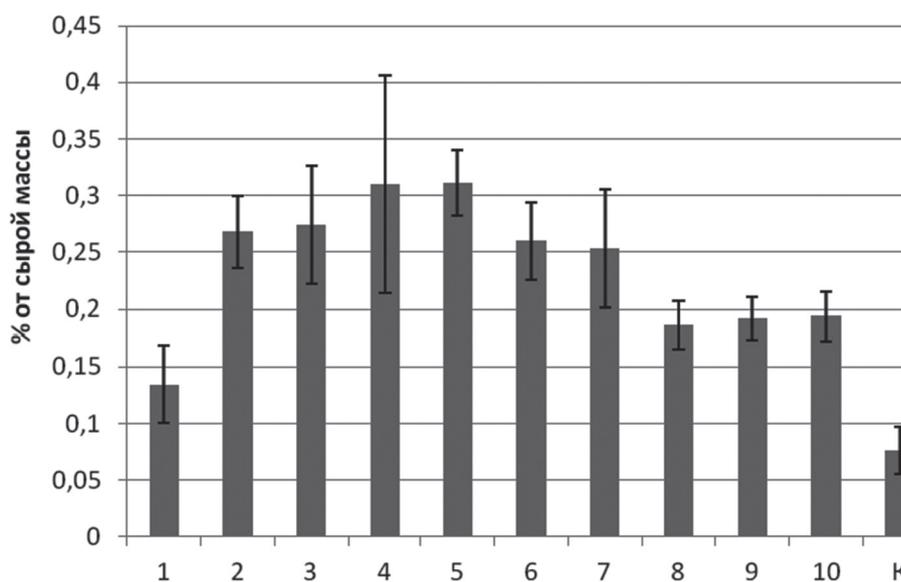
Анализируя полученные результаты, следует отметить, что значительное увеличение суммарного содержания флавоноидов в клубнях *Dioscorea alata* наблюдается при модификации композиционного состава ионообменного субстрата ТРИОНА® путем добавления различных гидрогелей определенных концентраций.

Таблица 2. Суммарное содержание флавоноидов в клубнях *Dioscorea*Table 2. The total content of flavonoids in the tubers *Dioscorea*

Вариант опыта	Сумма флавоноидов, %
1 г к/ф	0,134 ± 0,03
0,5 г к/ф	0,268 ± 0,03
1 г м/ф	0,274 ± 0,05
0,5 г м/ф	0,310 ± 0,10
1 г бентонита	0,311 ± 0,03
0,5 г бентонита	0,260 ± 0,03
1 г гумата	0,191 ± 0,02
0,5 г гумата	0,194 ± 0,02
1 г калия	0,253 ± 0,05
0,5 г калия	0,186 ± 0,02
Контроль	0,076 ± 0,02

Значимым соединением в антиоксидантной защите растений является аскорбиновая кислота – мощный антиоксидант, фактор защиты организма от последствий стресса. Значительное ее количество содержится в продуктах растительного происхождения. Клубни и корневища *Dioscorea* также богаты витамином С [4]. Накопление аскорбиновой кислоты в растениях зависит от температуры, освещенности, влажности и уровня минерального питания почвы. Обеспеченность растений водой – не менее важный фактор, влияющий на синтез витаминов. В засушливых условиях, а также с повышением дозы удобрений новообразование веществ в растениях замедляется, что приводит к снижению содержания в растениях аскорбиновой кислоты.

В связи с этим нами проведены исследования по определению содержания аскорбиновой кислоты в клубнях *Dioscorea alata*. Установлено, что наибольшее количество витамина С в клубнях, полученных на субстрате, модифицированном с 1 г/л к/ф, 1 г/л бентонита и 0,5 г/л к/ф

Рис. 2. Суммарное содержание флавоноидов в клубнях *Dioscorea*:

1 – 1 г/л гидрогеля крупной фракции; 2 – 0,5 г/л гидрогеля крупной фракции; 3 – 1 г/л гидрогеля мелкой фракции; 4 – 0,5 г/л гидрогеля мелкой фракции; 5 – 1 г/л гидрогеля с бентонитом; 6 – 0,5 г/л гидрогеля с бентонитом; 7 – 1 г/л гидрогеля К⁺; 8 – 0,5 г/л гидрогеля К⁺; 9 – 1 г/л гидрогеля с гуматом; 10 – 0,5 г/л гидрогеля с гуматом; К – контроль

Fig. 2. The total content of the flavonoids in the tubers of *Dioscorea*:

1 – 1 g/l of coarse hydrogel; 2 – 0.5 g/l of coarse hydrogel; 3 – 1 g/l of fine fraction hydrogel; 4 – 0.5 g/l of fine fraction hydrogel; 5 – 1 g/l hydrogel with bentonite; 6 – 0.5 g/l of hydrogel with bentonite; 7 – 1 g/l of the hydrogel K⁺; 8 – 0.5 g/l of hydrogel K⁺; 9 – 1 g/l hydrogel with a humate; 10 – 0.5 g/l hydrogel with a humate; K – control

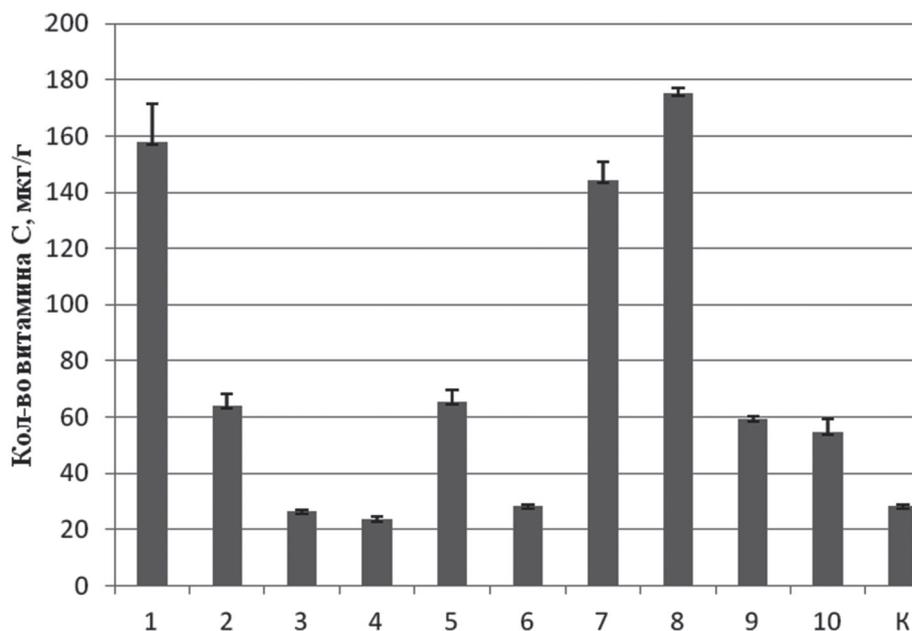


Рис. 3. Количество аскорбиновой кислоты в клубнях *Dioscorea*:

1 – 1 г/л гидрогеля с бентонитом; 2 – 0,5 г/л гидрогеля с бентонитом; 3 – 1 г/л гидрогеля K^+ ; 4 – 0,5 г/л гидрогеля K^+ ; 5 – 1 г/л гидрогеля с гуматом; 6 – 0,5 г/л гидрогеля с гуматом; 7 – 1 г/л гидрогеля крупной фракции; 8 – 0,5 г/л гидрогеля крупной фракции; 9 – 1 г/л гидрогеля мелкой фракции; 10 – 0,5 г/л гидрогеля мелкой фракции; К – контроль

Fig. 3. The amount of Ascorbic acid in the tubers of *Dioscorea*:

1 – 1 g/l hydrogel with bentonite; 2 – 0.5 g/l of hydrogel with bentonite; 3 – 1 g/l of the hydrogel K^+ ; 4 – 0.5 g/l of the hydrogel K^+ ; 5 – 1 g/l hydrogel with a humate; 6 – 0.5 g/l hydrogel with a humate; 7 – 1 g/l of coarse hydrogel; 8 – 0.5 g/l of coarse hydrogel; 9 – 1 g/l of fine fraction hydrogel; 10 – 0.5 g/l of fine fraction hydrogel; K – control

(в 5 раз выше контроля), а наименьшее – в вариантах с использованием гидрогеля K^+ (рис. 3). При использовании остальных вариантов показатель были примерно в 2 раза выше, чем в контроле.

Анализ данных о содержании биологически активных веществ показал, что наибольшее количество биологически активных веществ накапливается в условиях выращивания растений *Dioscorea* на субстрате, модифицированном путем добавления гидрогеля в концентрации 1 г/л к/ф и бентонита, а также 0,5 г/л к/ф, что наиболее стабилизирует ионообменный субстрат по влажности.

Заключение. Полученные результаты по содержанию продуктов первичного биосинтеза – аскорбиновой кислоты и продуктов вторичного синтеза – флавоноидов в клубнях диоскорее свидетельствуют о том, что их концентрация зависит от влажности субстрата, на котором они получены.

По нашим данным, в вариантах с 1 г/л м/ф, 1 г/л бентонита и 0,5 г/л к/ф содержание аскорбиновой кислоты превышало контрольные значения в 7–8 раз.

Содержание флавоноидов во всех вариантах значительно превышало аналогичный показатель в контроле (в 1,6–3,9 раза). При этом наибольшее содержание флавоноидов наблюдалось в вариантах с гидрогелями 1 г/л м/ф, 1 г/л бентонита, 1 г/л K^+ , 0,5 г/л к/ф и 0,5 г/л м/ф.

Таким образом, способность растения диоскорее накапливать в ионообменном субстрате, модифицированном 1 г/л к/ф, наибольшее количество крахмала, сухого вещества, аскорбиновой кислоты и флавоноидов может быть использована в практических целях.

Список использованных источников

1. Bouman, F. Seed structure and systematics in Dioscoreales / F. Bouman // Monocotyledons: systematics and evolution : papers presented at the Intern. symp., The Roy. Bot. Gardens, Kew, 18–23 July 1993 : in 2 vol. / ed.: P. J. Rudall [et al.]. – Richmond, 1995. – Vol. 1. – P. 139–156.
2. Куркин, В. А. Фармакогнозия : учебник / В. А. Куркин. – Самара : Офорт ; Самар. гос. мед. ун-т, 2004. – 1179 с.

3. Куркин, В. А. Современные аспекты химической классификации биологически активных соединений лекарственных растений / В. А. Куркин // Фармация. – 2002. – № 2. – С. 8–16.
4. Сорокина, А. А. Изучение состава биологически активных веществ диоскореи супротивной / А. А. Сорокина, Бу Вэй // Состояние и перспективы оптимизации и эффективности в фармакогнозии, технологии, клинике : сб. материалов науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 30-летию каф. фармакогнозии и фармацевт. технологии Яросл. гос. мед. акад. / Яросл. гос. мед. акад. ; [принимали участие М. Е. Жаворонкова, Я. А. Мальцева, С. К. Забелина]. – Ярославль, 2014. – С. 61–63.
5. Спектральные характеристики источника света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения / Н. И. Протасов [и др.] // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – Вып. 2. – С. 30–35.
6. Янчевская, Т. Г. Оптимизация содержания катионов и анионов в среде корнеобитания для максимального коэффициента размножения картофеля *in vivo* / Т. Г. Янчевская, В. А. Бобров // Ботаника : (исследования) : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича, Белорус. ботан. о-во, Белорус. обществ. об-ние физиологов растений. – Минск, 2008. – Вып. 35. – С. 495–506.
7. Янчевская, Т. Г. Ионообменные питательные субстраты – их уникальные свойства и области применения / Т. Г. Янчевская, К. В. Бахнова, А. Л. Ольшаникова // Ботаника : (исследования) : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Отд-ние биол. наук, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича, Белорус. ботан. о-во, Белорус. обществ. об-ние физиологов растений. – Минск, 2005. – Вып. 33. – С. 361–366.
8. Гавриленко, В. Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание : учеб. пособие / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина ; под ред. Б. А. Рубина. – М. : Высш. шк., 1975. – 392 с.
9. Чупахина, Г. Н. Колориметрическое определение аскорбиновой кислоты / Г. Н. Чупахина // Специальный практикум по биохимии и физиологии растений : учеб. пособие / М. М. Окунцов [и др.]. – Калининград, 1981. – С. 14–16.
10. Точкова, Т. В. Спектрофотометрический метод количественного определения суммы флавоноидов в цветках липы / Т. В. Точкова, В. Н. Бубенчикова // Науч. тр. ВНИИ фармауки. – 1991. – Т. 29. – С. 173–177.
11. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика : учеб. пособие / П. Ф. Рокицкий. – Изд. 3-е, испр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 318 с.
12. Янчевская, Т. Г. Оптимизация минерального питания растений / Т. Г. Янчевская. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 456 с.
13. Сорокина, А. А. Совершенствование характеристик подлинности сырья диоскореи ниппонской / А. А. Сорокина, Бу Вэй // Человек и лекарство : сб. материалов (тез. докл.) XIX Междунар. конгр., Москва, 7–11 апр. 2014 г. – М., 2014. – С. 329.
14. Сорокина, А. А. Содержание дубильных веществ в двух видах диоскореи / А. А. Сорокина, Бу Вэй, А. И. Марахова // Фармация. – 2014. – № 1. – С. 14–16.
15. Сорокина, А. А. Изучение фенольных соединений двух видов диоскореи / А. А. Сорокина, Бу Вэй // Человек и лекарство : сб. материалов (тез. докл.) XIX Междунар. конгр., Москва, 7–11 апр. 2014 г. – М., 2014. – С. 329.

References

1. Bouman F. Seed structure and systematics in Dioscoreales. *Monocotyledons: systematics and evolution: rarig presented at the International symposium*, ed.: P. J. Rudall [et al.]. Richmond, 1995, vol. 1, pp. 139–156.
2. Kurkin V. A. *Pharmacognosy: a textbook*. Samara, Ofort, Samara state medical University, 2004. 1179 p. (in Russian).
3. Kurkin V. A. Modern aspects of chemical classification of biologically active compounds of medicinal plants. *Farmatsiya*, 2002, no. 2, pp. 8–16. (in Russian).
4. Sorokin A. A., Bu Vjej. Study of the composition of biologically active substances of Dioscorea opposite. *Sostoianie i perspektivy optimizatsii i effektivnosti v farmakognozii, tekhnologii, klinike: sbornik materialov nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posviashchennoi 30-letiiu kafedry farmakognozii i farmatsevticheskoi tekhnologii Iaroslavskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii* [The state and prospects of optimization and efficiency in pharmacognosy, technology, clinic: a collection of materials of the scientific and practical conference with international participation on the 30th anniversary of the Department of Pharmacognosy and pharmaceutical technology of the Yaroslavl State Medical Academy], Iaroslavskaiia gosudarstvennaia meditsinskaia akademiia [Yaroslavl State Medical Academy]. Yaroslavl, 2014, pp. 61–63. (in Russian).
5. Protasov N. I. [et al.] The spectral characteristics of the light source and the growth characteristics of plants under artificial lighting. *Fiziologiya rastenii* [Plant Physiology], 1990, vol. 37, iss. 2, pp. 30–35. (in Russian).
6. Janchevskai T. G., Bobrov V. A. Optimizing the content of cations and anions in the environment corneometry for maximum multiplication factor of potato in vivo. *Botanika: (issledovaniia): sbornik nauchnykh trudov* [Botanica: (research): a collection of scientific papers]. Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Otdelenie biologicheskikh nauk, Institut eksperimental'noi botaniki im. V. F. Kuprevich, Belorusskoe botanicheskoe obshchestvo, Belorusskoe obshchestvennoe ob'edinenie fiziologov rastenii [National Academy of Sciences of Belarus, Department of Biological Sciences, Institute of Experimental Botany. V. F. Kuprevich, Belarusian Botanical Society, Belarusian Public Association of Plant Physiologists]. Minsk, 2008, iss. 35, pp. 495–506. (in Russian).
7. Janchevskaya T. G., Bakhnova K. V., Ol'shanikova A. L. Ion exchange nutrient substrates – their unique properties and applications. *Botanika: (issledovaniia): sbornik nauchnykh trudov* [Botanica: (research): a collection of scientific papers], Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Otdelenie biologicheskikh nauk, Institut eksperimental'noi botaniki im. V. F. Kuprevich, Belorusskoe botanicheskoe obshchestvo, Belorusskoe obshchestvennoe ob'edinenie fiziologov rastenii [National

Academy of Sciences of Belarus, Department of Biological Sciences, Institute of Experimental Botany. V. F. Kuprevich, Belarusian Botanical Society, Belarusian Public Association of Plant Physiologists]. Minsk, 2005, iss. 33, pp. 361–366. (in Russian).

8. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Khandobin L. M. *Large workshop on plant physiology*. Photosynthesis. Respiration : proc. manual, ed. by B. A. Rubin. Moscow, Vysshaya shkola [Higher School], 1975. 392 p. (in Russian).

9. Chupakhina G. N. Colorimetric determination of ascorbic acid. *Special workshop on the biochemistry and physiology of plants : proc. manual*, Okuncov M. M. [et al.]. Kaliningrad, 1981, pp. 14–16. (in Russian).

10. Tochko T. V., Bubenchikova V. N. Spectrophotometric method of quantitative determination of the sum of flavonoids in linden flowers. *Nauchnye trudy VNI farmnauki* [Scientific works of the All-Russian Scientific Research Institute of Pharmaceutical Science], 1991, vol. 29, pp. 173–177. (in Russian).

11. Rokitskii P. F. *Biological statistics : proc. manual*, 3rd ed.. Minsk, Higher School, 1973. 318 p. (in Russian).

12. Janchevskaya T. G. *Optimization of mineral nutrition of plants*. Minsk, *Belaruskaya navuka* [Belarusian science], 2014. 456 p. (in Russian).

13. Sorokina A. A., Bu Vei. Improving the characteristics of the authenticity of the raw material of *Dioscorea nippon-skoj*”. *Chelovek i lekarstvo : sbornik materialov (tezisy dokladov) XIX Mezhdunarodnogo kongressa* [Man and medicine: a collection of materials (Abstracts) XIX International Congress]. Moscow, 2014. p. 329. (in Russian).

14. Sorokina A. A., Bu Vei, Marahova A. I. Tannin Content in two species of *Dioscorea*. *Farmatsiya*, 2014, no. 1, pp. 14–16. (in Russian).

15. Sorokina A. A., Bu Vei. Study of phenolic compounds in two types of Yam”. *Chelovek i lekarstvo : sbornik materialov (tezisy dokladov) XIX Mezhdunarodnogo kongressa* [Man and medicine: a collection of materials (Abstracts) XIX International Congress]. Moscow, 2014. p. 329. (in Russian).

Информация об авторах

Карасёва Елена Николаевна – мл. науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ledymc_net@mail.ru.

Янчевская Тамара Георгиевна – канд. биол. наук, заведующий лабораторией. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: t_yanch@mail.ru.

Макарова Татьяна Борисовна – науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: t62makarova@mail.ru.

Для цитирования

Карасева, Е. Н. Физиолого-биохимическая оценка биологически активных веществ в клубнях *Dioscorea alata* L., выращенной в защищенном грунте / Е. Н. Карасева, Т. Г. Янчевская, Т. Б. Макарова // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 77–83.

Information about the authors

Elena N. Karaseva – Junior researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ledymc_net@mail.ru.

Tamara G. Yanchevskaya – Ph. D. (Biol.), Head of the Laboratory. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t_yanch@mail.ru.

Tatyana B. Makarova – Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t62makarova@mail.ru.

For citation

Karaseva E. N., Yanchevskaya T. G., Makarova T. B. Physiological-biochemical assessment of the biologically active substances *Dioscorea alata* L., growing in the protected soil. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 77–83.

А. В. Переход

Витебск, Республика Беларусь

О ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОСОБЕЙ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Установлены закономерности динамики продуктивности сосновых культур в связи с изменением светового режима под пологом насаждений. По результатам анализа потребления атмосферного азота при формировании фотосинтетического аппарата растений живого напочвенного покрова и древесной популяции предложена четкая система дифференциации древесных особей в культурах сосны. Показано, что процесс дифференциации деревьев зависит в основном от актуального плодородия почвы, формируемого автотрофными бактериями.

Ключевые слова: культуры сосны обыкновенной, конкуренция, солнечная радиация, атмосферный азот, автотрофные бактерии.

A. V. Perekhod

Vitebsk, Republic of Belarus

ON THE DIFFERENTIATION OF THE WOODY SPECIALS IN THE CULTURES OF *PINUS SILVESTRIS*

The regularities of dynamics of productivity of pine crops in connection with a change in the light regime under the canopy of plants. According to the analysis of the use of atmospheric nitrogen in the formation of the photosynthetic apparatus of plants, living ground cover and tree populations is given schematic diagram of the mechanism of differentiation of woody species in the pine. It is shown that the process of differentiation of trees is mainly dependent on the active fertility of the soil formed by the autotrophic bacteria.

Keywords: culture of *Pinus silvestris*, competition, solar radiation, atmospheric nitrogen, autotrophic bacteria.

Введение. Дискуссии о том, что является причиной дифференциации деревьев в насаждениях (экологические условия или наследственность), продолжаются до настоящего времени. Для решения этого вопроса нами используется один из главных биогенных элементов (НРК), а именно атмосферный азот, поставляемый автотрофными бактериями растениям живого напочвенного покрова (ЖНП) и древесным популяциям лесных фитоценозов. При этом учитывается только эффективная форма азота (ЭФА), используемая в процессе формирования фотосинтетического аппарата растений ЖНП (ЭФА₁) и древесной популяции (ЭФА₂). На основании этих показателей актуальное плодородие почвы (АПП) определяется как суммарное количество общего азота в ежегодной фитомассе листьев растений ЖНП и древостоя, т. е. АПП приравнивается к ЭФА [1].

Цель данной работы – обосновать наличие двух вариантов формирования фотосинтетического аппарата в культурах сосны обыкновенной.

Объекты и методы исследования. Объектами по выяснению причин дифференциации древесных особей послужили сосновые культуры свежих боров Беларуси, по материалам изучения которых нами составлены специальные таблицы хода роста [1, 2], учитывающие следующие важнейшие функциональные показатели лесных фитоценозов:

ЭОП (энергетическая освещенность почвы) – интенсивность солнечной радиации (в процентах от максимально возможной) под пологом насаждений;

АПП (актуальное плодородие почвы) – виртуальная величина в виде легкоусвояемых соединений азота, поставляемых растениям автотрофными бактериями;

ЭФА (эффективная форма азота) – универсальный показатель уровня продуктивности лесных фитоценозов (определяемые в физических единицах параметры ЭФА (ЭФА₁ + ЭФА₂) приравниваются к актуальному плодородию почвы, т. е. ЭФА = АПП).

Прирост по длине окружности ствола в сосновых культурах являлся критерием выделения физиологически здоровых (ФЗД) и угнетенных (ФУД) деревьев. К группе ФЗД относились деревья, прирост которых в сосняках II класса бонитета за два сезона вегетации всегда был больше 1 см. Деревья с меньшим приростом на высоте 1,3 м относились к группе ФУД с последующим их переходом в сухостой и валежник.

Таксационные показатели продуктивности лесных насаждений определяли с использованием формулы М (запас стволовой древесины) = H_F (видовая высота) G (сумма площадей сечений) по методике В. Джурджу [3]. Текущий прирост (Z_M) определяли по формуле $Z_M = H'_F G' - H''_F G''$, где H'_F – видовая высота в год обмера стволов, G' – сумма площадей сечений в год обмера стволов, H''_F – видовая высота n лет назад, G'' – сумма площадей сечений n лет назад. H_F – средняя видовая высота для сосны, равная $0,355H + 2,22$.

Обмер длины окружности стволов осуществляли металлической рулеткой. Для перевода длины окружности в диаметр использовали таблицу определения диаметра по длине окружности.

Результаты и их обсуждение. Нами отмечалось [1], что в лесных фитоценозах как растения ЖНП, так и древесные популяции проходят этапы прогрессивного развития и упадка. На прогрессивном этапе существования при достаточной освещенности растения ЖНП неуклонно усиливают свои позиции, занимая до 80 % жизненного пространства на единице площади (1 га), стремясь максимально освоить АПП за счет перехвата азотного питания у представителей древесных популяций. Это ведет к деградации фотосинтеза у значительной части деревьев и неизбежному падению текущего прироста в сосновых культурах. Снижающиеся поставки азотных соединений осваивают только ФЗД, формирующие на этапе стагнации насаждений базовый запас стволовой древесины. При этом необходимый для ежегодного построения фотосинтетического аппарата (ФСА) ФЗД азот добывается автотрофными бактериями непосредственно из атмосферы по первому (основному) варианту (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Динамика актуального плодородия почвы при основном варианте формирования фотосинтетического аппарата в культурах сосны обыкновенной

Table 1. Dynamics of actual soil fertility in the basic version of the formation of the photosynthetic apparatus in the cultures of *Pinus silvestris*

Возраст культур, лет	Экологический фактор		Эффективная форма азота (ЭФА)	
	ЭОП, % от максимально возможной	АПП, кг/га ⁻¹	ЭФА ₁ , кг/га ⁻¹	ЭФА ₂ , кг/га ⁻¹
1	60	250	249	<i>1</i>
5	50	235	220	<i>15</i>
10	40	205	160	<i>45</i>
15	30	180	100	<i>80</i>
20	20	155	40	<i>115</i>
25	0	125	0	<i>125</i>
30	5	106	<i>6</i>	100
40	10	60	<i>20</i>	40
50	20	70	<i>45</i>	25
60	25	105	<i>80</i>	25
70	35	145	<i>120</i>	25
80	50	250	<i>230</i>	20
90	50	250	<i>230</i>	20
100	50	250	<i>230</i>	20

П р и м е ч а н и е. ЭОП – энергетическая освещенность почвы; АПП – атмосферный азот, переведенный бактериями в доступную форму; ЭФА₁ – общий азот фотосинтетического аппарата растений ЖНП; ЭФА₂ – общий азот фотосинтетического аппарата однолетней хвои. Полужирным шрифтом отмечены возрастные этапы прогрессивного развития сосновых культур и растений ЖНП. В табл. 1, 2 густота посадки 1×2 м – 5000 шт/га⁻¹, свежий бор, АПП = ЭФА = 250 кг/га⁻¹.

Следует отметить, что в хвойных древостоях существует и второй (сопутствующий) вариант построения ФСА, при котором задействован бывший в употреблении атмосферный азот, получаемый в процессе его оттока из листьев (хвои) прошлого года генерации. При осуществлении второго варианта ФСА в древесном сообществе появляются ФУД, у которых отмечается тенденция на усыхание в ближайшие 5–10 лет.

Существует много показателей, характеризующих свет в процессе его испускания, распространения и преобразования (отражение, поглощение, пропускание и др.). При исследовании динамики роста и развития сосновых культур нами используются абстрактные величины излучения, позволяющие в среднем оценивать плотность светового потока (освещенность) и интенсивность радиации (энергетическую освещенность) в течение календарного года.

Плодородие – очень динамичное свойство почвы, способное быстро изменяться под влиянием природных факторов. К возрасту жердняка актуальное плодородие снижается на 50 % в связи с падением уровня энергетической освещенности почвы.

Затенение участков кронами заселяющих лесную площадь хвойных многолетников нарушает световой режим почвенного комплекса и на долгие годы усложняет характер взаимоотношений между однолетними и многолетними растениями.

Сложные органические вещества, образующиеся в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, необходимы для успешного воспроизводства продукции наземными растениями в процессе осуществления фотосинтеза. При этом, произрастая под пологом сосновых культур, растения ЖНП на этапе регресса нуждаются в ЭОП, а древесным особям на этапе стагнации насаждений катастрофически не хватает продукции автотрофных бактерий. Корневая система травянистых растений на стадии своего прогрессивного развития более жизнеспособна, чем аналогичная система древесных особей на этапе упадка. В связи с этим, по мере восстановления жизнедеятельности автотрофных бактерий, продукция последних всецело перехватывается и используется растениями ЖНП.

В табл. 2 полужирным курсивом отмечена динамика дискриминации с последующей элиминацией 4480 древесных особей (9/10 древесной популяции), принявших на себя по необходимости обязанности формирования ФСА по сопутствующему варианту, т. е. отторгая (регенерируя) азот из хвои прошлого года.

Т а б л и ц а 2. Динамика эффективной формы азота при формировании первого (основного) и второго (сопутствующего) вариантов фотосинтетического аппарата в культурах сосны обыкновенной

Table 2. Dynamics of the effective form of nitrogen in the formation of the first (main) and second (collateral) variants of the photosynthetic apparatus in the cultures of *Pinus silvestris*

Возраст культур, лет	ФЗД				ФУД		Сумма площадей сечений, м ² /полнота	Текущий прирост, м ³ /га ⁻¹	Сухостой, шт/га ⁻¹ /запас, м ³ /га ⁻¹	Запас произведенной древесины, м ³ /га ⁻¹
	Высота, м	Диаметр, см	Стволы, шт/га ⁻¹ /запас, м ³ /га ⁻¹	ЭФА ₁ /ЭФА ₂ , кг/га ⁻¹	Стволы, шт/га ⁻¹ /запас, м ³ /га ⁻¹	ЭФА ₁ /ЭФА ₂ , кг/га ⁻¹				
1	0,3	–	5000/–	249/1	–/–	250/–	–/–	–	–/–	1
5	1,7	–	5000/6	220/15	–/–	220/–	–/–	1,0	–/–	6
10	3,5	3,8	5000/19	160/45	–/–	160/–	–/–	2,6	–/–	19
15	5,0	5,6	5000/50	100/80	–/–	100/–	12,1/0,8	6,2	–/–	50
20	6,5	7,6	4500/92	40/115	500/5	40/8	21,6/1,1	9,4	–/–	97
25	8,5	10,8	2600/126	0/125	1900/44	0/47	32,4/1,4	14,6	–/–	170
30	10,5	13,5	1750/148	6/100	850/36	6/34	41,4/1,5	13,6	500/5	233
40	13,5	17,8	1050/184	20/40	700/71	20/30	43,8/1,4	10,7	2750/80	340
50	16,0	20,6	790/207	60/30	260/50	60/11	37,4/1,2	7,3	700/71	413
60	18,0	22,8	630/222	80/25	160/46	80/5	34,6/1,0	6,1	260/50	474
70	20,0	24,2	520/222	120/25	110/40	120/2	31,9/0,9	4,0	160/46	514
80	22,0	24,8	520/253	160/20	–/–	–/–	29,7/0,8	3,1	110/40	545
90	23,0	25,9	520/284	230/20	–/–	–/–	27,5/0,7	3,1	–/–	576
100	24,0	26,1	520/299	230/20	–/–	–/–	27,8/0,7	1,5	–/–	591
110	25,0	26,3	520/314	230/20	–/–	–/–	28,1/0,7	1,5	–/–	606

Практически у всех без исключения особей древесной популяции отмечается наличие двух вариантов формирования ФСА. Оба эти варианта некоторое время существуют одновременно, но первый может функционировать сам по себе в течение всего онтогенеза сосновых культур. При этом ежегодно посредством передачи атмосферного азота оставшейся к вековому возрасту древесной популяции (520 деревьев – 1/10 древесной популяции) должен осуществляться непосредственный контакт автотрофных микроорганизмов с ФЗД. Необходимо отметить, что рубками ухода в молодых посадках (до 40 лет) можно менять статус ФУД на статус ФЗД, так как в условиях лучшей энергетической освещенности почвы происходит трансформация второго варианта формирования ФСА на первый.

В древостоях естественного происхождения роль ФЗД выполняют особи, занимающие постоянно господствующее положение в куртинах лесного сообщества, которые по запасу стволовой древесины к 60 годам выравниваются с продуктивностью сосновых культур [4].

На этапе стагнации в приспевающих и спелых сосняках формируется равновесная экологическая система (РЭС), при которой оставшиеся к этому времени ФЗД при минимальном текущем приросте стволовой древесины ($1,5 \text{ м}^3/\text{га}^{-1}$) способны жить вечно, поскольку соотношение между показателями ЭФА₁ ($230 \text{ кг}/\text{га}^{-1}$) и ЭФА₂ ($20 \text{ кг}/\text{га}^{-1}$) в перспективе остается постоянным неопределенно долго. Дифференциация древесных особей на ФЗД и ФУД не является, как принято считать, бесконечной прерогативой популяции, а в рамках указанной РЭС носит вполне законченный характер.

С помощью анализа лабораторных образцов невозможно обнаружить различия по качеству и количеству между ФСА здоровых особей и уходящих в утиль (усыхающих) в лесном фитоценозе, однако они хорошо заметны по дифференциации показателей диаметра и высоты, которые всегда меньше у деревьев, переходящих на сопутствующий вариант развития. О наличии этих различий свидетельствует и тот факт, что ФСА усыхающих деревьев использует атмосферный азот повторно и в пониженном количестве по сравнению с ФСА здоровых особей.

Продуктивность сосновых культур по запасу базовой стволовой древесины в сосняках свежих боров (II класс бонитета) формируется только количеством ФЗД и в средневозрастных посадках составляет $222 \text{ м}^3/\text{га}^{-1}$. В дальнейшем запас стволовой древесины возрастает до $300 \text{ м}^3/\text{га}^{-1}$ и более за счет стабильного количества деревьев на 1 га лесной площади.

Заключение. В сосновых насаждениях существует два варианта формирования ФСА – основной и сопутствующий. По основному (первому) варианту в течение онтогенеза лесных культур (100 и более лет) растут в среднем 500 древесных особей, использующих атмосферный азот, поставляемый автотрофными бактериями. По сопутствующему (второму) варианту, длящемуся в промежутке от 20 до 70 лет, ФСА использует азот, получаемый из листьев (хвои) прошлых лет генерации. Механизм дифференциации с последующей элиминацией древесных особей обеспечивается и регламентируется только при втором варианте формирования ФСА.

Список использованных источников

1. Переход, А. В. Закономерности процесса изреживания сосновых культур / А. В. Переход // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. – Гомель, 2013. – Вып. 73. – С. 244–253.
2. Переход, А. В. Биологическая и хозяйственная продуктивность сосновых культур в Белорусском Полесье / А. В. Переход, О. В. Чуешков // Лесоведение. – 1993. – № 2. – С. 71–74.
3. Джурджу, В. Таксация текущего прироста насаждений : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В. Джурджу. – М., 1957. – 19 с.
4. Переход, А. В. Влияние конкуренции за пищевые ресурсы на текущий прирост сосновых насаждений / А. В. Переход // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. – Гомель, 2016. – Вып. 76. – С. 72–80.

References

1. Perekhod A. V. Regularities of the process of thinning pine trees. *Problemy lesovedeniia i lesovodstva : sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: proceedings of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2013, iss. 73, pp. 244–253. (in Russian).

2. Perekhod A. V., Chueshkov O. V. Biological and economic productivity of pine cultures in the Belarusian Polesie. *Lesovedenie* [Forest Science], 1993, no. 2, pp. 71–74. (in Russian).

3. Dzhurdzhu V. *Inventory of current growth of plantations*, Abstract of Ph. D. dissertation, Agricultural Sciences. Moscow, 1957. 19 p. (in Russian).

4. Perekhod A. V. Influence of competition for food resources on the current growth of pine plantations. *Problemy lesovedeniia i lesovodstva : sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: proceedings of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2016, iss. 76, pp. 72–80. (in Russian).

Информация об авторе

Переход Анатолий Владимирович – канд. с.-х. наук, бывший ст. науч. сотрудник. Институт леса НАН Беларуси (ул. Володарского, 127–81, 210016, г. Витебск, Республика Беларусь). E-mail: an.perechod@yandex.ru.

Information about the author

Anatoly V. Perekhod – Ph. D. (Agric.), former Senior researcher. Forest institute of the National Academy of Sciences of Belarus (127–81, Volodarsky Str., 210016, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: an.perechod@yandex.ru

Для цитирования

Переход, А. В. О дифференциации древесных особей в культурах сосны обыкновенной / А. В. Переход // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 84–88.

For citation

Perekhod A. V. On the differentiation of wood species in the cultures of *Pinus silvestris*. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 84–88.

Т. С. Мамедов, Ш. А. Гюльмамедова

Институт дендрологии НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

В статье приводятся результаты научно-исследовательской работы по определению наиболее перспективных, интродуцированных из местной флоры Азербайджана и зарубежных стран декоративных деревьев, кустарников и травянистых растений. Изучены биоэкологические особенности этих растений. Установлено, что последние хорошо адаптируются в условиях Азербайджана и могут быть использованы в озеленении для оформления парков, садов, скверов путем создания различных композиций. На территории дендрария и г. Баку созданы декоративные композиции различных форм, в основном в регулярном и ландшафтном стиле. В центре композиции высаживаются, как правило, высокорослые вечнозеленые деревья и кустарники, по краям – низкорослые многолетние, однолетние травянистые растения. Декоративные композиции играют также большую роль в охране окружающей среды, обеспечении экологической безопасности в городской среде и полноценного отдыха. Проведенные исследования создают научную базу зеленого строительства на основе принципа экологизации.

Ключевые слова: биоразнообразие, перспективный, декоративный, растение, композиция.

T. S. Mammedov, Sh. A. Gulmammedova

Institute of Dendrology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

BIODIVERSITY OF DECORATIVE PLANTS AND ITS RATIONAL USE IN CONDITIONS OF AZERBAIJAN

The article presents the results of scientific research to determine the most perspective, introduced from local flora of Azerbaijan and foreign countries ornamental trees, shrubs and herbaceous plants. The bioecological features of these plants have been studied. It is established that the latter are well adapted in the conditions of Azerbaijan and can be used in landscaping for the design of parks, gardens, squares by creating various compositions. Decorative compositions of various forms were created on the territory of the arboretum and the city of Baku, mainly in regular and landscape style. In the center of the composition, as a rule, tall, evergreen trees and bushes are planted, along the edges there are short, perennial, annual herbaceous plants. Decorative compositions also play a big role in protecting the environment, ensuring environmental safety in the urban environment and proper rest. The conducted researches create the scientific base of green building on the basis of the principle of ecologization.

Keywords: biodiversity, perspective, decorative, plant, composition.

Введение. В последние годы в Азербайджанской республике одной из важнейших задач в области зеленого строительства является создание парков, садов, скверов, офисных интерьеров по стилевым законам ландшафтной архитектуры. Декоративные древесные, кустарниковые насаждения, цветники и газоны обуславливают своеобразие и красоту городов, поселков, способствуют оздоровлению окружающей среды. В Азербайджанской республике, особенно в г. Баку, изучение и рациональное использование биоразнообразия декоративных растений в озеленении имеет важное значение с точки зрения охраны генофонда, увеличения биоразнообразия и сохранения экологического равновесия. В г. Баку при озеленении территорий новых промышленных, жилых массивов, дорог, мостов использование многочисленных декоративных растений наряду с архитектурой является основным фактором улучшения социальных условий людей, организации их отдыха. С этой целью в лаборатории ландшафтной архитектуры Института дендрологии Национальной академии наук Азербайджана проводятся исследования по подбору перспективного ассортимента декоративных растений. Институт дендрологии площадью 12 га является образцом садово-паркового наследия Азербайджана. Здесь собраны коллекции декоративных вечнозеленых и листопадных деревьев и кустарников, многолетних, двулетних и однолетних

травянистых растений. В оранжереях имеются коллекции тропических и субтропических растений.

Цель данной работы – интродукция древесно-кустарниковых и травянистых растений из зарубежных стран и местной флоры в условиях Апшерона, изучение их биоэкологических особенностей и использование этих растений для создания различных декоративных композиций в парках, садах, скверах.

Основными задачами исследования являлся подбор растений для озеленения с декоративными качествами, продолжительного срока цветения, малотребовательных к орошению, устойчивых к болезням, различным вредителям и неблагоприятным погодным условиям. Представлялось важным сохранение декоративности композиций, созданных из растений с ранней весны до поздней осени, что достигалось путем выбора продолжительно цветущих и сменяющих друг друга определенных видов и сортов растений. Вид цветника зависел от подбора растений по высоте, цвету и форме цветков. В настоящее время формирование городских парков и садов связано с решением важных экологических проблем, что обусловило всестороннее изучение влияния зеленых зон и особенностей их взаимодействия со средой. Все садово-парковые комплексы Азербайджана, включая древние каменные сады, альпинарии средних веков и современные национальные парки, созданы в результате продолжительной и многоэтапной истории садово-паркового строительства в стране, эволюции взаимосвязи архитектуры, искусства, климата и других факторов.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования являлись различные виды и сорта декоративных деревьев, кустарников и травянистых растений. Морфологические особенности вегетативных органов изучались по методикам И. Т. Васильченко [1] и И. Г. Серебрякова [2], морфология корневой системы – по методике В. А. Колесникова [3]. Устойчивость растений к высоким температурам изучалась по методу К. А. Ахматова [4], к засухе – по методике П. А. Генкеля [5]. Особенности фенологического развития изучались по методам, приведенным в работах [6, 7].

Результаты и их обсуждение. На основе изучения биоэкологических особенностей интродуцированных декоративных растений как открытого, так и закрытого грунта в условиях Апшерона разработаны и созданы декоративные композиции на территории дендрария и на территории г. Баку. В стилевом отношении это регулярные и ландшафтные композиции самой разнообразной структуры. Некоторые из них представлены на рис. 1–4.



Рис. 1. Партер перед дворцом Республики
Fig. 1. Parterre in front of the Palace of the Republic



Рис. 2. Трехъярусная композиция
Fig. 2. Three-tier composition

При проведении научно-исследовательской работы составлены одиночные, групповые, рядовые посадки, массивы, живые изгороди, бордюры и т. д. В регулярном стиле созданы композиции геометрической формы, например «Квадрат», «Ромб», «Прямоугольник», «Круг», «Звезда» и т. д., а в пейзажном стиле – композиции «Карта Азербайджана», «Цветок», «Тюльпан», «Бута» и т. д. Как правило, в композиции выделялась центральная часть с видимой доминантой в виде наиболее экзотических растений. В центре композиции высаживались высокие, в основном вечнозеленые деревья и кустарники, по краю – низкие многолетние и однолетние травянистые растения. В композициях учитывалась окраска и форма цветков, непрерывность цветения, отношение растений к свету, почве, влаге. Каждый год в созданных композициях ассортимент однолетних растений сменялся другими однолетними растениями, в то время как многолетние растения оставались на одном и том же месте несколько лет. В композиции растения выбирались так, чтобы их цветение проходило одновременно или же смещалось по срокам от весны к осени, обеспечивая постоянный декоративный эффект в течение сезона. В композиции растения сочетались друг с другом по высоте, цвету и форме.

Созданы также многоярусные композиции, композиции из горшечных растений. Для создания композиций «Сердце», «Огонь», «Полумесяц», «Лопата» и др., в основе которых были различные горшечные растения, использовали металлические конструкции. Следует отметить такие объекты, как искусственные скалы перед оранжереями, где использованы водопады, высажены различные вьющиеся растения. При создании композиций широко применяли различные малые архитектурные формы (например, скульптуры «Флора», «Ангел», «Мать с ребенком», «Гном»), разноцветные, с рисунками, большие и мелкие камни, фонтаны и т. д. С помощью декоративной стрижки растений, например туи, декоративной маслины, созданы формы спирали, прямоугольника, шара и т. д. Из стелющихся растений (карпобротуса, лампантуса) на открытом участке создан цветочный ковер. В целом аномалистика широко представлена в цветочно-декоративных композициях г. Баку.

Для сохранения и увеличения биоразнообразия декоративных растений в республике отбирают растущие в дендрарии перспективные виды, которые затем размножают и внедряют в озеленение парков, садов, скверов, аллей, улиц, бульвара, вокруг промышленных предприятий, учебных заведений, офисных зданий и т. д.

Дендрарий в Мардакяне приобрел широкую известность как научно-методический



Рис. 3. Цветочная композиция

Fig. 3. Flower composition



Рис. 4. Композиция с использованием малых архитектурных форм

Fig. 4. Composition using small architectural forms

центр по озеленению полупустынных районов не только Апшерона, но и всего Азербайджана. Из коллекций дендрария особенно широкое распространение на улицах и в парках городов и сел получили аризонский и горизонтальный кипарисы, алепская и итальянская сосны, дрок испанский, маслина европейская и многие другие породы. Дендрарий одновременно является источником, откуда уже с первых лет его существования брался посадочный материал для обмена с озеленительными организациями Закавказья, Средней Азии, Северного Кавказа, Крыма и Южной Украины. В дендрарии собрано свыше 400 видов и форм древесных и кустарниковых пород [8].

Коллекции растений дендрария все время пополняются интродуцированными из местной флоры и зарубежных стран декоративными деревьями, кустарниками и травянистыми растениями.

Согласно существующим санитарно-гигиеническим нормам, в крупных промышленных городах, в том числе в г. Баку, площадь зеленых насаждений должна составлять 45–50 % от общей жилой застройки, или 26–30 м² на одного жителя. В зеленом строительстве Апшерона применяются и нормально развиваются около 150 видов декоративных древесных и кустарниковых растений. Видовой состав их с каждым годом обогащается [9].

Ни один современный озеленительный объект не может обойтись без цветов. Они не только украшают композицию, но порой являются главными ее компонентами, выделяют вход, обрамляют дорожки, водоемы, рекреационные зоны и т. д. Самое главное, чтобы созданная композиция из цветущих растений была декоративна весь сезон – с ранней весны до поздней осени. Этого можно добиться путем подбора определенных видов и сортов растений, цветущих длительное время или сменяющих друг друга. Многообразие цветочных растений и богатство их красок дают возможность создавать разнообразные цветочные композиции, добиваясь при этом не только сочетания в них большого количества тонов и оттенков, но и преобладания одной окраски [10].

Этой цели способствуют и луковичные растения, такие как местные и голландские виды и сорта тюльпана, гиацинта, декоративного крокуса, нарцисса, декоративного лука, лилии. Луковичные отличаются красивым ранним цветением и широко используются как в дендрарии, так и в г. Баку для создания композиций. Изучены биоэкологические особенности голландских, местных видов и сортов луковичных, клубневых растений.

Особое значение в озеленении городов принадлежит древесным растениям. Их экологическую и декоративную значимость трудно переоценить. Хотя сами растения при этом зачастую существенно страдают. Показано, например, что вяз, выросший в лесу, доживает до 300 лет, на городской же улице век его короче – 45 лет. Липа в городской среде может существовать 50–80 лет, в лесу – до 400 лет. Загрязненный воздух замедляет рост растений в 2 раза. Ученые стараются продлить срок жизни деревьев в городе. В этом отношении более благоприятные условия создаются в парках. Для уличных посадок подбирается ассортимент из более устойчивых к поллютантам растений: канадский и бальзамический тополя, мелколистная липа, клен ясенелистный, а из кустарников – бузина, спирея, жимолость. Эти породы меньше страдают от вредных выбросов [11].

Одним из центров биоразнообразия декоративных растений является фондовая оранжерея института, где широко представлены различные виды декоративных кустарников и травянистых растений тропической и субтропической флоры, например китайская роза, фикус, бегония, орхидея, цикламен, камелия, антуриум и др. Изучены их биоэкологические особенности, освоена репродукция. Из указанных и других растений на грядках оранжереи созданы композиции декоративных растений.

Главное при создании цветника – соблюдать чувство меры и подбирать растения с близкими требованиями к свету, влаге, почве. Ни один компонент не должен потеряться в цветнике. Так, низкие, компактные растения не должны закрываться высокими. Превосходны группы из растений одного вида, но с разной окраской листвы или соцветий. При создании цветника следует учитывать характер разрастания многолетников [12].

Использование некоторых перспективных декоративных растений в различных типах зеленых насаждений в условиях Апшерона приведено в таблице.

Перспективные декоративные растения для различных типов зеленых насаждений

Promising ornamental plants for different types of greenery

Порода	Тип зеленых насаждений					
	Аллея	Одиночные	Групповые	Бордюры	Живые изгороди	Уличные посадки
<i>Cupressus sempervirens</i> Mill.	+	+	+	+	+	+
<i>Albizzia julibrissin</i> Dur.	+	+	+	–	–	+
<i>Cercis siliquastrum</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	+	+	+	–	–	–
<i>Ligustrum lucidum</i> Ait.	+	+	+	+	+	+
<i>Olea europaea</i> L.	+	+	+	–	–	+
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	–	+	+	+	+	+
<i>Quercus ilex</i> L.	+	+	+	+	+	–
<i>Pinus eldarica</i> Medw.	+	+	+	–	–	+
<i>Punica granatum</i> L.	+	+	+	+	+	–
<i>Rosa sp. diversa</i>	+	+	+	–	–	+
<i>Hibiscus syriacus</i> L.	–	+	+	–	–	–
<i>Chamaerops humilis</i>	+	+	+	+	–	+
<i>Evokymus japonica</i> L.	–	+	+	+	–	–
<i>Nerium oleander</i> L.	–	+	+	–	–	+

Примечание. «+» – используемые, «–» – неиспользуемые.

С целью изучения дендрофлоры Апшерона, в том числе для определения перспективы использования для озеленительных работ древесно-кустарниковых и травянистых интродуцентов в парках и садах, проведены следующие работы: в садово-парковых зонах г. Баку выявлен таксономический состав древесно-кустарниковых и травянистых интродуцентов; проведен их систематический, биологический и экологический анализ; определены категории использования интродуцентов в зеленом строительстве; выделены перспективные виды для озеленения города; растения сгруппированы по высоте, листопадности, вечнозелености и другим особенностям.

В результате проведенной работы определены наиболее перспективные декоративные растения, используемые в настоящее время для создания композиций в Азербайджане: около 50 родов древесно-кустарниковых растений и около 52 родов травянистых растений.

Отбирали такие виды деревьев, чтобы их красивые цветы, плоды и листья создавали декоративный ансамбль, в том числе с архитектурой. В последние годы интродуцированные в республике такие вечнозеленые деревья и кустарники, как шинус, падуб, казуарина, дуб, акация, магнолия, каллистемон, эвкалипт, пальма и др., имеют особое значение в ландшафтной архитектуре города. Форма кроны, гамма окраски цветов, имеющиеся в составе фитонциды этих растений, используемых в ландшафтной архитектуре г. Баку, улучшают социальные условия жизни людей [13].

По устойчивости к местным почвенно-климатическим условиям интродуценты, используемые в озеленении, разделены на три группы: I группа – перспективные виды, у которых зимой не наблюдается никаких повреждений; II группа – относительно менее перспективные виды, у которых зимой повреждаются верхушки однолетних побегов; III группа – неперспективные виды, у которых зимой надземная часть растений до снежного покрова замерзает, а весной снова восстанавливается. На основе проведенных испытаний 412 (78,3 %) видов можно отнести к I группе, 87 (16,5 %) – к II группе, 30 (5,7 %) – к III группе. Эти виды могут быть использованы в различных сферах озеленения: в бордюрах – 302 (46 %) вида, в одиночных посадках – 323 (49 %), в групповых посадках – 321 (48,5 %), в живых изгородях – 34 (5,1 %), в альпинариях – 16 (2,4 %), на клумбах – 47 (7,1 %) видов. Следует отметить, что виды, используемые в озеленении в условиях Апшерона, успешно проходят все фазы развития.

Заключение. Изучен таксономический состав древесно-кустарниковых и травянистых интродуцентов в озеленении г. Баку, проведен их систематический, биологический и экологический анализ, определены категории значимости для зеленого строительства. Показано, что наиболее

перспективными в настоящее время для создания декоративных композиций в Азербайджане являются около 50 родов древесно-кустарниковых растений и около 52 родов травянистых растений. Созданы различные формы композиций.

По устойчивости к местным почвенно-климатическим условиям интродуценты, используемые в озеленении, разделены на три перспективные группы. Определено количество видов, относящихся к этим группам. Решен вопрос об их использовании в различных сферах озеленения. Установлено, что в настоящее время у всех видов, используемых для озеленения в условиях Апшерона, фазы развития проходят нормально.

Наиболее перспективными для использования в озеленении и для создания декоративных композиций являются хорошо адаптированные таксоны в условиях Апшерона.

Таким образом, с целью обогащения биоразнообразия следует активнее внедрять в практику озеленения новые виды и сорта.

Список использованных источников

1. Васильченко, И. Т. Всходы деревьев и кустарников : определитель / И. Т. Васильченко, Акад. наук СССР, Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1960. – 302 с.
2. Серебряков, И. Г. Морфология вегетативных органов высших растений : учеб. пособие для гос. ун-тов / И. Г. Серебряков. – М. : Сов. наука, 1952. – 390 с.
3. Колесников, В. А. Корневая система плодовых и ягодных растений и методы ее изучения / В. А. Колесников. – М. : Сельхозиздат, 1962. – 190 с.
4. Ахматов, К. А. Адаптация древесных растений к засухе: на примере предгорий Киргизского Ала-Тоо / К. А. Ахматов. – Фрунзе : Илим, 1976. – 200 с.
5. Генкель, П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений / П. А. Генкель. – М. : Наука, 1982. – 280 с.
6. Лапин, П. И. Определение перспективности растений для интродукции по данным фенологии / П. И. Лапин, С. В. Сиднева // Бюл. ГБС АН СССР. – 1968. – Вып. 69. – С. 14–21.
7. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / ГБС АН СССР ; сост. М. С. Александрова, Н. Е. Булыгин, В. Н. Ворошилов [и др.]. – М., 1975. – 27 с.
8. Мардакянский дендрарий / Р. М. Аббасов [и др.]. – Баку : Элм, 1978.
9. Агамиров, У. М. Ассортимент деревьев и кустарников для озеленения Баку и Апшерона / У. М. Агамиров, А. Р. Алиев, И. С. Сафаров. – Баку : Азерб. гос. изд-во, 1976. – 25 с.
10. Витвицкая, М. Э. Современный дизайн участка / М. Э. Витвицкая. – М. : Лада, 2005.
11. Зарубин, Г. П. Окружающая среда и здоровье / Г. П. Зарубин, Д. П. Никитин, Ю. В. Новиков. – М. : Знание, 1977. – 52 с.
12. Шешко, П. С. Ландшафтный дизайн / П. С. Шешко. – М. : Совр. шк., 2009. – 142 с.
13. Məmmədov T. S. *Abşeronun ağac və kolları*. – Баку : Наука и образование, 2010. – 35 с.

References

1. Vasil'chenko I. T. *Shoots of trees and shrubs: (Determinant)*. Academy of Sciences of the USSR, VL Komarov Botanical Institute. Moscow, Leningrad, Izd-vo AN SSSR [Publishing house of the USSR], 1960, 302 p. (in Russian).
2. Serebryakov I. G. *Morphology of the vegetative organs of higher plants* : [Textbook for state universities]. Moscow, Sovetskaya nauka [Soviet science], 1952. 390 p. (in Russian).
3. Kolesnikov V. A. *Root system of fruit and berry plants and methods of it studying*. Moscow, Sel'khozizdat [Selkhozizdat], 1962. 190 p. (in Russian).
4. Akhmatov K. A. *Adaptation of woody plants to drought: the example of the foothills of the Kyrgyz Ala-Too*. Frunze, Ilim, 1976. 200 p. (in Russian).
5. Genkel' P. A. *Physiology of heat and drought resistance of plants*. Moscow, Nauka, 1982, 280 p. (in Russian).
6. Lapin P. I., Sidneva S. V. Determination of plant perspective for introduction according to phenology. *Biulleten' gosudarstvennogo botanicheskogo sada AN SSSR* [Bulletin of the State Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences], 1968, rel. 69, pp. 14–21. (in Russian).
7. *The methodology of phenological observations in the botanical gardens of the USSR*, in Aleksandrova M. S., Bulygin N. E., Voroshilov V. N. [et al.] (sost.). Moscow, 1975. 27 p. (in Russian).
8. Abbasov R. M., Agamirov U. M., Mammedov F. M., Sadixov A. M. *Mardakan Arboretum*. Baku, Elm Publishing, 1978. (in Russian).
9. Agamirov U. M., Aliyev A. P., Safarov I. S. *The range of trees and shrubs for landscaping of Baku and Absheron*. Baku, Azerbaidzhanskoe gosudarstvennoe izdatel'stvo [Azerbaijan State Publishing], 1976, 25 p. (in Russian).
10. Vitviskaya M. E. *Contemporary architecture of area*. Moscow, Lada, 2005, pp. 26–27. (in Russian).
11. Zarubin K. P., Nikitin D. P., Novikov Ju. V. *Environment and health*. Moscow, Knowledge, 1977. 52 p. (in Russian).
12. Sheshko P. S. *Landscape architecture*. Moscow, Sovremennaya shkola [Publishing Modern School], 2009. 142 p. (in Russian).
13. Mammedov T. S. *Trees and Shrubs of Absheron*. Baku, Nauka i obrazovanie [Science and Education publishing], 2010. 35 p.

Информация об авторах

Мамедов Тофик Садыг оглы – член-корреспондент, д-р биол. наук, директор. Институт дендрологии национальной академии наук Азербайджана (ул. Есенина, 89, AZ 1044, г. Баку, Азербайджан). E-mail: dendrary@mail.az.

Гюльмамедова Шалала Адил кызы – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт дендрологии национальной академии наук Азербайджана (ул. Есенина, 89, AZ 1044, г. Баку, Азербайджан). E-mail: shalala.g@mail.ru.

Для цитирования

Мамедов, Т. С. Биоразнообразие декоративных растений и их рациональное использование в условиях Азербайджана / Т. С. Мамедов, Ш. А. Гюльмамедова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 89–95.

Information about the authors

Mammedov Tofig Sadig oqli – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Director. Institute of Dendrology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (89, S. Yesenin Str., AZ 1044, Baku, Azerbaijan). E-mail: dendrary@mail.az.

Gulmammedova Shalala Adil kizi – Ph. D. (Biol.), Leading researcher. Institute of Dendrology of the National Academy of Sciences of Azerbaijan (89, S. Yesenin Str., AZ 1044, Baku, Azerbaijan). E-mail: shalala.g@mail.ru.

For citation

Mammedov T. S., Gulmammedova Sh. A. Biodiversity of decorative plants and its rational use in conditions of Azerbaijan. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya byyalagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 89–95.

АГЛЯДЫ
REVIEWS

УДК 616.3; 576.5; 57.089-03

Поступила в редакцию 05.05.2017

Received 05.05.2017

И. Д. Волотовский, З. Б. Квачева

Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

**МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ КОЖИ
(ДЕРМАЛЬНЫХ ЭКВИВАЛЕНТОВ)**

Статья представляет собой обзор литературных и собственных данных авторов о строении кожи и ее структурных компонентов – эпидермиса, дермы и гиподермы. Приводятся данные об особенностях функций каждого из слоев, их структурно-функциональном взаимодействии. Особое внимание уделено дерме и ее основному надмолекулярному компоненту – межклеточному матриксу и роли фибробластов в его формировании. Описывается молекулярное строение коллагена, роль альфа-спиральных участков и зарядов в стабилизации структуры макромолекулы и уровни надмолекулярной организации его макромолекул в дерме. Рассмотрены строение и функции фибробластов и особенности взаимодействия этого класса дермальных клеток с межклеточным матриксом. Описаны методы выделения и культивирования фибробластов и получения коллагена из биологического соединительнотканного материала. Анализируются морфофункциональные основы создания искусственной кожи (дермальных и тканевых эквивалентов). Дана оценка перспектив развития нового биотехнологического направления – создания искусственных дермальных и тканевых эквивалентов и их использования в клинической практике для лечения повреждений кожи, полученных в результате воздействия физических и химических факторов.

Ключевые слова: кожа, дерма, фибробласты, коллаген, межклеточный матрикс.

I. D. Volotovskii, Z. B. Kvacheva

Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

**MORPHOLOGY AND FUNCTION BASIS OF THE CREATION ARTIFICIAL SKIN
(DERMAL EQUIVALENTS)**

The review of literature data and own results of the authors on skin structure, and skin structural components epidermis, derma and hypoderm are given. The special attention for derma intercellular matrix and role of fibroblasts in its shaping was paid. The methods of isolation and cultivation of fibroblasts and collagen isolation from connective tissue and development prospects of this biotechnology direction were described. The creation of artificial derma and tissue equivalents and its application in clinic praxis to treat the skin damages under the action of chemical and physical factors were considered.

Keywords: skin, derma, fibroblasts, collagen, intercellular matrix.

Кожа – орган, выполняющий барьерные функции между внешней и внутренней средами организма. Кожа участвует в дыхании, терморегуляции и является носителем множества рецепторов чувствительности (болевой, тактильной, температурной и др.), выполняя экскреторную, эндокринную, рецепторную, иммунную и метаболические функции. В последние годы в ряде научных коллективов ближнего и дальнего зарубежья проводятся интенсивные исследования по созданию модельных кожных покровов с целью их использования в клинике для лечения повреждений кожи, полученных в результате воздействия факторов химической и физической природы.

Строение кожи. У взрослого человека площадь кожи составляет 1,5–2,3 м², или 4–6 % от общей массы тела. Кожа состоит из трех структурных компонентов (рис. 1): наружного – эпидермиса, построенного из нескольких слоев ороговевающих эпителиальных клеток (кератиноцитов), среднего – дермы и внутреннего – гиподермы [1–3].

Эпидермис включает 5 слоев (зон) эпидермальных клеток кератиноцитов: базальный (ростковый), шиповидный, зернистый, блестящий и роговой. В глубоких слоях эпидермиса клетки живые, они активно функционируют и делятся, постепенно передвигаясь к поверхности. Погибая, эти клетки превращаются в чешуйки, которые постепенно удаляются с поверхности кожи. Таким образом происходит обновление клеточных элементов эпидермиса.

Дерма несет основную функциональную нагрузку в коже, являясь ее структурно-клеточной опорой.

Дерма состоит из двух слоев – папиллярного и ретикулярного. В первом содержатся капилляры, нервные окончания, а во втором – кровеносные и лимфатические сосуды, нервные окончания, фолликулы волос, потовые железы. Структурные элементы, находящиеся в этом слое, формируют так называемый межклеточный матрикс (МКМ), представляющий собой сложный надмолекулярный трехмерный комплекс, организованный фибриллярными белками и связанными с ними клетками. МКМ обладает ярко выраженными биомеханическими свойствами и обеспечивает коже структурную целостность.

В МКМ входят разнообразные белки и низкомолекулярные биологически активные соединения, а именно фибриллярные белки коллагены I–VII типов, гликопротеины, металлопротеиназы, циклины и различные факторы роста. МКМ условно делится на фибриллярный (густую сеть фибрилл) и аморфный (собственно матрикс) компоненты. Второй по своей структуре сходен с гелем и состоит из полисахаридов.

Хотя каждый из коллагенов, входящих в состав дермы, кодируется своим геном, их вторичная и третичные структуры имеют общие признаки. Макромолекулы коллагенов (третичная структура) состоят из трех полипептидных цепей, которые связаны друг с другом ковалентными связями и закручены в спираль. Они получили название тропоколлагенов. Каждая из цепей имеет свои аминокислотную последовательность, степень гидроксирования и гликозирования аминокислотных остатков. На один виток альфа-спирали приходится три аминокислотных остатка. Молекулярная масса коллагена составляет 300 кДа, длина макромолекулы порядка 300 нм, а толщина 1,5 нм. Структурные единицы коллагена (тропоколлагены) спонтанно объединяются в более крупные структуры – фибриллы, поддерживаемые межмолекулярными ковалентными связями. Фибриллы объединяются в пучки или тяжи, из которых образуются коллагеновые волокна, представляющие более высокую структурную организацию коллагена. Надмолекулярная организация (толщина) коллагеновых волокон в папиллярном и ретикулярном слоях дермы разная. В папиллярном слое коллагеновые волокна тонкие и диссеминированные, а в ретикулярном – толстые, образующие густую сеть. I, II, III и V типы коллагенов, входящих в состав дермы, несут и разную функциональную нагрузку [4, 5].

На долю коллагена I приходится примерно 90 % от всего содержащегося в дерме белка. Именно коллаген I является основным строительным материалом МКМ. Коллаген III ассоциирован в дерме с кровеносными сосудами, коллаген IV формирует базальную мембрану, отделяющую дерму от эпидермиса и содержащую стволовые и прогениторные клетки – предшественники кератиноцитов. Из коллагена VI построены фибриллы, соединяющие эпидермис и дерму.

Клеточные, белковые и небелковые компоненты дермы. Основным клеточным элементом дермы являются фибробласты. Они содержатся и в папиллярном, и в ретикулярном слоях дермы, продуцируют коллагены I и III типов. Фибробласты папиллярного слоя дермы обладают более высокой синтетической активностью. Подсчитано, что один дифференцированный фибробласт (фиброцит) синтезирует в сутки порядка 3,5 млн молекул коллагена [4].

В дерме содержится также большое количество минорных белков, относящихся по своей природе к гликопротеинам (фибронектин, тромбоспондин, ламинин, энтактин, тенасцин) и протеогликанам (версикан, декорин). Их разделяют на две группы: а) белки, обладающие адгезивными свойствами; б) белки, подавляющие адгезию клеток. Адгезивные белки стабилизируют трехмерную структуру МКМ, а белки, подавляющие адгезию клеток, ее лабилизируют, выполняя сигнальные функции.

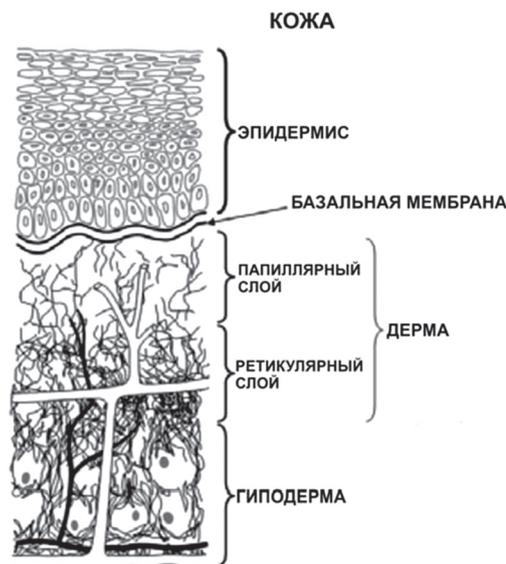


Рис. 1. Схема строения кожи [1]

Fig. 1. The structure of skin [1]

Важную функциональную роль в дерме выполняют матриксные цинк-зависимые металлопротеиназы. Они относятся к классу ферментов эндопептидаз и контролируют деградацию коллагеновых нитей в процессе ремоделирования МКМ.

К небелковым компонентам МКМ относятся гиалуроновая кислота, различные цитокины (лейкотриены IL 1, 6, 10, фактор некроза опухолей α), хемокины, факторы роста и медиаторы воспалительных процессов. Особое место среди небелковых компонентов занимает гиалуроновая кислота, которая отвечает за микровязкость дермы и участвует в ее гидродинамике. С помощью различных факторов роста контролируются эпидермальный морфогенез и ангиогенез.

Практически все белки МКМ продуцируются фибробластами, являющимися основным клеточным компонентом дермы. Это коллагены, кислые мукополисахариды, биологически активные паракринные соединения.

Дерма содержит две большие популяции фибробластов: митотически активные (МАФ), т. е. активно делящиеся, и митотически неактивные (МНАФ) [6, 7]. Предшественником фибробластов являются находящиеся в костном мозге мезенхимальные и гемопоэтические стволовые клетки, в ходе дифференцировки которых образуются сначала митотически активные, прогениторные фибробласты МАФ: $МКС \rightarrow МАФ1 \rightarrow МАФ2 \rightarrow МАФ3$, а затем неактивные (МНАФ) и постмитотические (ПМАФ) зрелые фибробласты: $МАФ3 \rightarrow МНАФ \rightarrow ПМАФ$. МАФ-клетки относятся к прогениторной популяции, а ПМАФ – к необратимой фиброцитарной популяции [7]. У последней наиболее низкий пролиферативный потенциал, но самая высокая экскреторная активность [7]. Однако в пересчете на клетку финальные клетки ПМАФ и фиброциты продуцируют в 5–8 раз больше общего коллагена, чем МАФ1, МАФ2 и МАФ3 вместе взятые. Это означает, что по мере старения фибробластов специализация клеточных компонентов меняется, начиная с пролиферации клеток (увеличения их численности в общем пуле) и заканчивая ростом их экскреторной активности (синтезом белков и различного рода небелковых биологически активных компонентов).

Самые ранние клеточные продукты дифферона поступают сначала из костного мозга в кровеносное русло [7], а затем в дерму, где и претерпевают ряд изменений. Последние клеточные продукты постмитотические фибробласты превращаются в конечный дермальный клеточный продукт – фиброцит. Согласно другой точке зрения, предшественниками фибробластов являются эмбриональные эндогенные клетки, которые появляются в дерме на стадии эмбриогенеза и сохраняют свои характеристики во взрослом организме [8]. Именно благодаря этому, фибробласты и характеризуются дифференцировочной гетерогенностью. Наконец, фибробласты дермы, находящиеся в ее разных слоях, выполняют свой набор экскреторных и структурных функций, благодаря чему каждый из слоев характеризуется особенностями состава и организации структурных компонентов в МКМ. Что касается биомеханических свойств МКМ, то следует отметить, что они во многом определяются адгезионными свойствами фибробластов и их способностью эффективно взаимодействовать (комплексировать) с коллагеновыми тяжами. Эта способность проявляется и *in vitro*. В культуре фибробласты способны прикрепляться к поверхности культуральной посуды, что является критическим условием проявления их высокой пролиферативной активности.

Фибробласты представляют собой гетерогенную клеточную популяцию, которая включает мультипотентные мезенхимальные стволовые клетки и в разной степени дифференцированные фибробласты [7–10]. Популяция этих клеток получила название фибропластического дифферона. При этом клеточный пул МАФ1 обладает самым высоким пролиферативным потенциалом. Перед дифференцировкой в МАФ2 данные клетки претерпевают около 25–30 клеточных делений, в свою очередь клетки МАФ2 превращаются в клетки МАФ3 после 15–20 делений, а клетки МАФ3 перед переходом ПМАФ – всего лишь 5–8 делений. Видимо поэтому при посеве на твердую питательную среду фибробласты образуют три типа колоний – диффузные, смешанные и плотные, каждая из которых содержит клетки, находящиеся на разных стадиях дифференцировки. В целом, гетерогенность фибропластического дифферона зависит от нескольких факторов: локализации фибробластов и тесно связанными с ней функциональными задачами, выполняемыми клетками в том или ином слое кожи. Если рассматривать функциональные свойства фибробластов, следует отметить, что слои кожи заселены фибробластами, которые находятся на

разных уровнях дифференцировки и отличаются морфологией, пролиферативной активностью и молекулярными характеристиками [8].

Иммунофенотипический анализ «чистой» культуры фибробластов обнаруживает высокий (порядка 99 %) уровень экспрессии коллагенов I и III типов и наличие на поверхности клеток белковых маркеров мезенхимальных клеток, обозначаемых как CD73+, CD90+ и CD105+ (CD – cluster of differentiation). Выявить содержание гемопоэтических стволовых клеток (CD34+ и CD45+) и эпителиальных маркеров (цитокератинов) практически невозможно. Иммунофенотипической особенностью фибробластов является также экспрессия виментина, фибронектина, эластана. К сожалению, ни один из перечисленных выше маркеров не эксклюзивен.

Гиподерма заполнена клетками жировой ткани адипоцитами, отделенными друг от друга тонкими соединительнотканью слоями. Гиподерма характеризуется развитой кровеносной системой, включающей артериолы, вены и кровеносные капилляры, лимфатические сосуды, нервы, которые в совокупности обеспечивают трофику и гиподермы, и дермы.

Уникальные свойства структурных элементов кожи и в первую очередь дермы определили актуальность разработки препаративных подходов их выделения и культивирования. При этом речь идет в первую очередь о фибробластах – основных клеточных компонентах кожи и коллагене I типа, главном белке дермы – механической основе МКМ.

Технологии выделения и культивирования фибробластов. На сегодняшний день в литературе описаны разные методики выделения и культивирования фибробластов [11–15]. Их смысл сводится в основном к следующему. Берется фрагмент (эксплант) кожи размером 1–2 мм, а еще лучше дермы, и помещается в стерильную искусственную питательную среду, в которой фибробласты активно функционируют и эффективно делятся. Последний момент чрезвычайно важен, так как задачей культивирования является накопление как можно большего количества жизнеспособных клеток (клеточной биомассы). В ходе инкубации фрагмента фибробласты мигрируют из экспланта в среду и размножаются. Другой методический подход предусматривает предварительную ферментативную обработку исходного биологического материала трипсином, коллагеназой, диспазой с целью его структурной дезинтеграции и выхода фибробластов за пределы МКМ.

В Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси был выбран первый подход. Сначала из кожи (папиллярного слоя дермы) пациента выделяли небольшой фрагмент размером 2×3 мм, помещали в чашку с ростовой средой, накрывали предметным стеклом с отверстием в центре и переносили в инкубатор на 2 недели. Ростовую среду готовили на основе DMEM (среда Дульбекко) с добавлением 10 % эмбриональной телячьей сыворотки. Как только в чашке Петри образовывался сливной монослой, фрагмент переносили в другую чашку с ростовой средой того же состава для получения вторичного монослоя. Манипуляцию с эксплантом повторяли несколько раз. Каждый образовавшийся монослой снимали и пересевали в ростовую среду, содержащую DMEM/F12 в соотношении 3:1 и 10 % от общего объема эмбриональной телячьей сыворотки. На третьем пассаже перед трансплантацией в ростовую среду фибробластов вместо телячьей сыворотки добавляли 5 % собственной сыворотки пациента. Данный способ позволял в течение 1 мес. накопить в культуре большое количество пролиферативноактивных фибробластов. Схема выделения и экспрессного наращивания фибробластов кожи человека представлена на рис. 2.

В стационарной стадии роста культура фибробластов представлена морфологически однородными клетками (рис. 3), имеющими вытянутую форму. На поверхности клеток с помощью проточной цитофлуориметрии выявлены следующие поверхностные маркеры: CD90+ (92 %), CD 44+ (95 %), CD105+ (76 %), CD73+ (92 %) и белки виментин и фибронектин (97 и 28 % соответственно). Содержание других белков оказалось небольшим: К-19 (маркер эпителиальных клеток – предшественников кератиноцитов) – около 4 % и нестин (белок стволовых клеток) – 3–5 %. Содержание маркеров гемопоэтических стволовых клеток было незначительным: CD45+ – 2 %, CD34+ – 0,1 %. Впрочем, ввиду отсутствия у фибробластов эксклюзивных фенотипических маркеров наблюдаемые показатели культуры фибробластов оказались, при сравнении с литературными данными, практически идентичными чистым культурам фибробластов.

Дополнительные исследования культуры фибробластов дермы на биобезопасность, выполненные с помощью измерений методом ДНК-комет, показали отсутствие у культивированных

клеток генотоксичности по отношению к лимфоцитам периферической крови. Проведены также специальные опыты на цитотоксичность фибробластов. Для этого фибробласты сокультивировали с лимфоцитами периферической крови и оценивали долю некротических и апоптотических клеток в сокультуре. Эти показатели практически не отличались от контрольных величин. Клетки фибробластов не оказывали никакого сенсibiliзирующего и раздражающего действия при нанесении на кожу животных и не обладали канцерогенным действием при введении под кожу иммунодефицитным или иммуносупрессивным животным. В ходе наблюдения за животными в течение 2,5 мес. и более опухоли в месте введения фибробластов не обнаруживались.

Моделирование межклеточного матрикса, создание искусственных дермальных эквивалентов. Для восстановления целостности кожного покрова при его разрушении под влиянием физических и химических факторов очень важно вновь воссоздать структуру дермы и его ключевого структурного компонента межклеточного матрикса, что может быть взято за основу при разработке клеточной технологии лечения повреждений кожных покровов.

Моделирование МКМ получило широкое распространение в странах ближнего, в первую очередь в Российской Федерации, и дальнего зарубежья [16–18]. Создаются модельные системы МКМ на основе коллагена I типа и фибробластов, получивших название дермальных или тканевых эквивалентов (биомедицинских клеточных продуктов) кожи. Из простой смеси коллагена



Рис. 2. Схема выделения и экспрессного наращивания фибробластов кожи человека в условиях культуры
 Fig. 2. The scheme of isolation and express cultivation of human skin fibroblasts under culture conditions

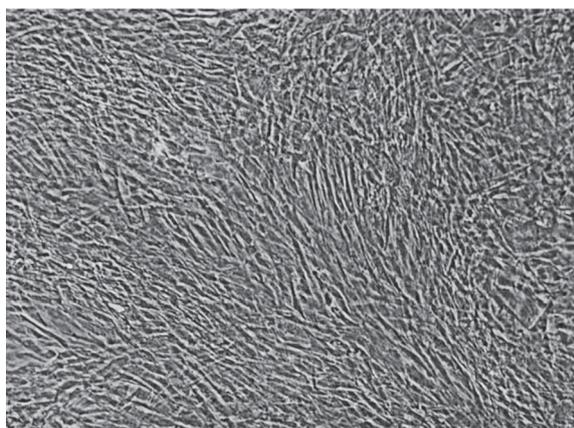


Рис. 3. Монослойная культура фибробластов дермы человека, 2-й пассаж, 4-е сутки роста. Фазово-контрастная микроскопия. ×100

Fig. 3. The monolay culture of human derma fibroblasts, 2nd passage, 4th day of growth, Fase-contrast microscopy. ×100

в виде пленки или мембраны с введенными в нее фибробластами самоорганизуется сложная надмолекулярная сеть из коллагеновых фибрилл и находящихся в ней фибробластов. При этом между фибриллами и фибробластами постепенно восстанавливаются интенсивные взаимодействия, присущие МКМ *in vivo*, что придает ранее поврежденной коже исходные или близкие к исходным биомеханические свойства.

Коллаген выделяют из соединительной ткани животных (например, из сухожилий) согласно довольно простой процедуре, предложенной П. Е. Анфимовым и Н. С. Красновой (патент Российской Федерации на «Способ получения коллагена из биологического материала»). Материал с высоким содержанием коллагена нарезают на маленькие кусочки (0,5–1 см²) и помещают на 1 ч в 10–20 %-ный раствор NaOH или KOH. Затем фрагменты тщательно промывают проточной водой и помещают в 20 %-ную уксусную кислоту для растворения материала. После этого в раствор добавляют, помешивая, ацетон. Коллаген выпадает в осадок. Сгусток коллагена нарезают на небольшие кусочки, высушивают на воздухе и лиофилизируют.

В последние годы ведутся интенсивные работы по получению генно-инженерного коллагена человека. Следует отметить, что на рынке уже появился рекомбинантный белковый продукт – human like collagen recombinant protein (Novus Biological, США). Однако он представляет собой не трех-, а односпиральную полипептидную цепочку с молекулярной массой 90 кДа. Фирма-изготовитель предлагает его использовать не в клинической практике, а только в научно-исследовательских целях. И хотя данный коллаген не вызывает аллергии и иммунологически полностью совместим с белками и тканями человеческого организма, его использование для создания, например, МКМ дермы вряд ли возможно.

Учитывая данное обстоятельство, широко используется коллаген, получаемый из биологического материала животного происхождения. Животный коллаген не обладает какой-либо токсичностью и не вызывает иммунологического конфликта при контакте с белками и тканями организма человека [19].

В некоторых лабораториях в модельную систему, состоящую из коллагена I типа и фибробластов, добавляются кератиноциты в расчете на то, что они будут способствовать формированию в модели эпидермиса (полный эквивалент дермы) [19, 20]. Остается непонятным, в какой мере в качестве носителя вместо коллагена можно использовать другие биodeградируемые полимерные матрицы (скаффолды), например производные молочной кислоты или хитозана [21]. Дело в том, что и человеческий коллаген I типа, и фибробласты достаточно дороги. Биodeградируемые скаффолды заменить коллаген полностью не смогут, а без него МКМ не образуется. Однако, учитывая, что фибробласты сами синтезируют коллаген, формирование МКМ (правда, в течение более продолжительного времени) исключить нельзя [22]. Именно поэтому в ряде работ предлагается создание дермальных эквивалентов на основе неколлагеновых биodeградируемых скаффолдов. Зарубежные фирмы начали производить биомедицинские клеточные продукты на основе коллагена и других биodeградируемых матриц под разными названиями, они доступны на рынке и используются в клинических условиях для лечения повреждений кожи и в первую очередь ожогов [20, 23].

Ввиду отсутствия юридической базы производимые в ряде научно-исследовательских учреждений Российской Федерации дермальные эквиваленты [24–26] до настоящего времени не получили широкого использования в клинике. С 1 января 2017 г. вступил в силу Закон Российской Федерации «О медицинских клеточных продуктах», регламентирующий все аспекты производства и использования клеточных продуктов в медицинской практике. В 2014 г. внесены дополнения в Закон Республики Беларусь «О здравоохранении», касающиеся биомедицинских клеточных продуктов, и ряд положений о их разработке, оценке биологической активности и порядке регистрации. В связи с этим в ближайшие годы клеточные технологии восстановления кожных покровов займут свое достойное место в арсенале протоколов лечения указанной патологии.

Список использованных источников

1. Stephens, P. Non-epithelial and mucosal progenitor cell population / P. Stephens, P. Genever // Oral Dis. – 2007. – Vol. 13, N 1. – P. 1–10.
2. Sonell, J. M. Fibroblasts – a diverse population at the center of it all / J. M. Sonell, A. I. Caplan / Int. Rev. Cell Mol. Biol. – 2009. – Vol. 276. – P. 161–214.

3. Серов, В. В. Соединительная ткань (функциональная морфология и общая патология) / В. В. Серов, А. Б. Шехтер. – М. : Медицина, 1981. – 312 с.
4. Шехтер, А. Б. Фибробласты и развитие соединительной ткани. Ультраструктурные аспекты, биосинтез, фибрилlogenез и катаболизм коллагена / А. Б. Шехтер, Г. Н. Берченко // Архив патологии. – 1978. – № 8. – С. 70–80.
5. Diversity, topographic differentiation, and positional memory in human fibroblasts / H. Y. Chang [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. – 2002. – Vol. 99, N 20. – P. 12877–12882.
6. Diversity of fibroblasts – a review of implication for skin tissue engineering cell tissue organs / S. V. Nolte [et al.] // Cell Tissue Organs. – 2008. – Vol. 187, N 3. – P. 165–176.
7. Witte, R. P. Keratinocyte fibroblast paracrine interaction: The effects of substrate and culture condition / R. P. Witte, W. J. Kao // Biomaterials. – 2005. – Vol. 26, N 17. – P. 3673–3682.
8. Бозо, И. Я. Фибробласт – специализированная клетка или функциональное состояние клеток мезехимального происхождения / И. Я. Бозо, Р. В. Деев, Г. П. Пинаев // Цитология. – 2010. – Т. 52. – С. 99–109.
9. Sorrel, J. M. Fibroblast heterogeneity: more than skin deep / J. Sorrel, M. Caplan // J. of Cell Sci. – 2004. – Vol. 117. – P. 667–675.
10. Age-dependent depletion of if human skin derived progenitor cell / N. Gago [et al.] // Stem Cells. – 2009. – Vol. 27. – P. 1164–1172.
11. Culturing skin *in vitro* for wound therapy / H. A. Navsaria [et al.] // Trends Biotechnol. – 1995. – Vol. 13, N 3. – P. 91–100.
12. Фрешни, Р. Я. Культура животных клеток : практ. рук. / Р. Я. Фрешни ; пер. с 5-го англ. изд. Ю. Н. Хомякова, Т. И. Хомяковой. – М. : Бином Лаборатория знаний, 2011. – 691 с. – (Методы в биологии).
13. Toma, J. G. Isolation of multipotent adult stem cells from the dermis of mammalian skin / J. G. Toma [et al.] // Nat. Cell Biol. – 2001. – Vol. 3, N 9. – P. 778–784.
14. Isolation and characterization of multipotent skin-derived precursors from human skin / J. G. Toma, I. A. McKenzie, D. Bagli, F. D. Miller // Stem Cells. – 2005. – Vol. 23. – P. 727–737.
15. Optimizing in vitro culture conditions leads to significantly shorter production time of humandermo-epidermal skin substitutes / L. Pontigia [et al.] // Pediatr. Surg. Int. – 2013. – Vol. 29, N 3. – P. 249–256.
16. Varkey, M. Differential collagenglycosaminoglycan matrix remodeling by superficial and deep dermal fibroblasts: Potential therapeutic targets for hypertrophic scar / M. Varkey, J. Ding, E. E. Tredget // Biomaterials. – 2011. – Vol. 32. – P. 7581–7591.
17. Tajima, S. Collagen synthesis by human skin fibroblasts in culture: studies of fibroblasts explanted from papillary and reticular dermis / S. Tajima, S. R. Pinnell // J. Invest. Dermatol. – 1981. – Vol. 77. – P. 410–412.
18. Richard, A. F. Tissue Engineering for Cutaneous Wounds / A. F. Richard, C. K. Ghosh, M. G. Tonnesen // J. Invest. Dermatol. – 2007. – Vol. 127. – P. 1018–1029.
19. Cultivation of keratinocytes and fibroblasts in a three-dimensional bovine collagen-elastin matrix (Matriderm®) and application for full thickness wound coverage *in vivo* / J. Killat [et al.] // Int. J. Mol. – 2013. – Vol. 14. – P. 14460–14474.
20. Petrof, G. Cell therapy in dermatology / G. Petrof, A. Abdul-Wahab, J. A. McGrath // Cold Spring Harb. Perspect Med. – 2014. – Vol. 4, N 6. – P. 1–29.
21. Minlong, Y. L. Study on biodegradable polymers synthesis and characterization of poly (DL-lactic acid-co L-Lysine) random copolymer / Y. L. Minlong, Y. Xianmo // Eur. Polymer J. – 2003. – Vol. 39, N 5. – P. 977–983.
22. Dermal fibroblasts from different layers of human skin are heterogeneous in expression of collagenase and types I and III procollagen mRNA / M. Ali-Bahar [et al.] // Wound Repair Regen. – 2004. – Vol. 12, N 2. – P. 175–182.
23. Huanjing, B. Current progress of skin tissue engineering seed cells bioscaffolds and construction strategies / B. Huanjing, J. Yan // Burns & Trauma. – 2013. – Vol. 1, N 2. – P. 63–72.
24. Современные методы клеточной терапии при лечении ожогов / С. В. Смирнов [и др.] // Хирургия. – 2003. – № 12. – С. 58–62.
25. Клеточные технологии для регенеративной медицины : сборник / под ред. Г. П. Пинаева, М. С. Богдановой, А. М. Кольцовой. – СПб. : Изд-во Политех. ун-та, 2011. – 333 с.
26. Туманов, В. П. 30-летний опыт разработки и применения клеточных технологий в клинической практике / В. П. Туманов, Д. А. Жакота, Н. С. Корчагина // Пластическая хирургия и косметология. – 2012. – № 3. – С. 433–449.

References

1. Stephens P., Genever P. Non-epithelial and mucosal progenitor cell population. *Oral Diseases*, 2007, vol. 13, pp. 1–10. doi: 10.1111/j.1601-0825.2006.01314.x.
2. Sonell M., Caplan A. I. Fibroblasts – a diverse population at the center of it all. *International Review of Cell and Molecular Biology*, 2009, vol. 276, pp. 161–214.
3. Серов В. В., Шехтер А. Б. *Connective tissue. Functional morphology and general pathology*. Moscow, Meditsina [Medicine], 1981. 82 p. (in Russian).
4. Shechter A. B., Berchenko G. N. Fibroblasts and development of connective tissue. Ultrastructural aspects, biosynthesis, fibrillogenesis, and collagen catabolism. *Archiv patologii* [Archive of Pathology], 1978, vol. 8, pp. 70–81. (in Russian).
5. Chang H. Y., Chi J. T., Dudoit S., Bondre C., Van de Rijck M., Borstein D., Brown P. O. Diversity, topographic differentiation, and positional memory in human fibroblasts. *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America*, 2002, vol. 99, no. 20, pp. 12877–12882. doi: 10.1073/pnas.162488599.
6. Nolte S. V., Xu W., Rennekampff H. O., Rodemann H. P. Diversity of fibroblasts – a review of implication for skin tissue engineering cell tissue organs. *Cells Tissues Organs*, 2008, vol. 187, no. 3, pp. 165–176.
7. Witte R. P., Kao W. J. Keratinocyte fibroblast paracrine interaction: The effects of substrate and culture condition. *Biomaterials*, 2005, vol. 26, no. 17, pp. 3673–3682. doi: 10.1016/j.biomaterials.2004.09.054.

8. Bozo I. Ia., Deev R. V., Pinaev G. P. Fibroblast – a specialized cell or functional state of the cells of mesenchymal origin. *Tsitologiya* [Cytology], 2010, vol. 52, pp. 99–109. (in Russian).
9. Sorrel J. M., Caplan A. I. Fibroblast heterogeneity: more than skin deep. *Journal of Cell Science*, 2004, vol. 117, pp. 667–675. doi: 10.1242/jcs.01005.
10. Gago N., Perez-Lopes V., Sanz-Jaka J., Cormenzana P., Eizaguirre I., Bernad A., Izata A. Age-dependent depletion of human skin derived progenitor cell. *Stem Cells*, 2009, vol. 27, pp. 1164–1172. doi:10.1002/stem.27.
11. Navsaria H. A., Myers S. R., Leigh I. M., McKay I. A. Culturing skin in vitro for wound therapy. *Trends Biotechnology*, 1995, vol. 13, no. 3, pp. 91–100. doi: 10.1016/S0167-7799(00)88913-1.
12. Freshni, R. Ia. *Culture of animal cells: practical guidance*, series: Methods in Biology, translation from the 5th English edition: Iu. N. Khomiakov, T. I. Khomiakova. Moscow, Binom Laboratoriia znaniy [Binom Knowledge Laboratory], 2011. 691 p. (in Russian).
13. Toma J., Akhavan M., Fernandes K., Toma J. G., Akhavan M., Fernandes K. J., Barnabé-Heider F., Sadikot A., Kaplan D. R., Miller F. D. Isolation of multipotent adult stem cells from the dermis of mammalian skin. *Nature Cell Biology*, 2001, vol. 3, no. 9, pp. 778–784. doi: 10.1038/ncb0901-778.
14. Toma J. G., McKenzie I. A., Bagli D., Miller F. D. Isolation and characterization of multipotent skin-derived precursors from human skin. *Stem Cells*, 2005, vol. 23, pp. 727–737. doi: 10.1634/stemcells.2004-0134.
15. Pontigia L., Klar A., Bottcher-Haberzeth S., Biedermann T., Meuji M., Reichman E. Optimizing *in vitro* culture conditions leads to significantly shorter production time of human-dermo-epidermal skin substitutes. *Pediatric Surgery International*, 2013, vol. 29, no. 3, pp. 249–256. doi: 10.1007/s00383-013-3268-x.
16. Varkey M., Ding J., Tredget E. E. Differential collagen-glycosaminoglycan matrix remodeling by superficial and deep dermal fibroblasts: Potential therapeutic targets for hypertrophic scar. *Biomaterials*, 2011, vol. 32, no. 30, pp. 7581–7591. doi: 10.1016/j.biomaterials.2011.06.070.
17. Tajima S., Pinnell S. R. Collagen synthesis by human skin fibroblasts in culture: studies of fibroblasts explanted from papillary and reticular dermis. *Journal of Investigative Dermatology*, 1981, vol. 77, no. 5, pp. 410–412.
18. Richard A. F., Ghosh C. K., Marcia G. T. Tissue Engineering for Cutaneous Wounds. *Journal of Investigative Dermatology*, 2007, vol. 127, no. 5, pp. 1018–1029. doi: 10.1038/sj.jid.5700715.
19. Killat J., Reimers K., Choi C. Y., Jahn S., Vogt P. M., Radtke C. Cultivation of keratinocytes and fibroblasts in a three-dimensional bovine collagen-elastin matrix (Matriderm®) and application for full thickness wound coverage *in vivo*. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, vol. 14, pp. 14460–14474. doi: 10.3390/ijms140714460.
20. Petrof G., Abdul-Wahab A., McGrath J. A. Cell therapy in dermatology. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 2014, vol. 4, no. 6, pp. 1–29 a015156. doi: 10.1101/cshperspect.a015156.
21. Minlong Y. L., Xianmo D. Study on biodegradable polymers synthesis and characterization of poly(DL-lactic acid-co L-Lysine) random copolymer. *European Polymer Journal*, 2003, vol. 39, no. 5, pp. 977–983.
22. Ali-Bahar M., Bauer B., Tredget E. E., Ghahary A. Dermal fibroblasts from different layers of human skin are heterogeneous in expression of collagenase and types I and III procollagen mRNA. *Wound Repair Regen*, 2004, vol. 12, no. 2, pp. 175–182. doi:10.1111/j.1067-1927.2004.012110.x.
23. Huanjing B., Yan J. Current progress of skin tissue engineering seed cells bioscaffolds and construction strategies. *Burns & Trauma*, 2013, vol. 1, no. 2, pp. 63–72. doi: 10.4103/2321-3868.118928.
24. Smirnov S. V., Kiselev I. V., Vasil'ev A. V., Tersikh V. V. Modern methods of cellular therapy of burnes. *Khirurgiya* [Surgery], 2003, no. 12, pp. 58–62. (in Russian).
25. *Cell technologies for regenerative medicine*, ed.: G. P. Pinaev, M. S. Bogdanova, A. M. Kol'tsova. St. Petersburg, Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta [Publishing house of the Polytechnic University], 2011. 333 p. (in Russian).
26. Tumanov V. P., Zhakota D. A., Korchagina N. S. 30-year experience of development and application of cell technologies in clinical practice. *Plasticheskaia khirurgiia i kosmetologiia* [Plastic Surgery and Cosmetology], 2012, no. 3, pp. 433–444. (in Russian).

Информация об авторах

Волотовский Игорь Дмитриевич – академик НАН Беларуси, д-р биол. наук, заведующий лабораторией. Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: volotovski@yahoo.com.

Квачева Зинаида Болеславовна – вед. науч. сотрудник. Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kvach zb@tut.by.

Для цитирования

Волотовский, И. Д. Морфофункциональные основы создания искусственной кожи (дермальных эквивалентов) / И. Д. Волотовский, З. Б. Квачева // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2017. – № 3. – С. 96–103.

Information about the authors

Igor'D. Volotovski – Academician, D. Sc. (Biol.), Head of the Laboratory. Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).

Zinaida B. Kvacheva – Leading researcher. Institute of Biophysics and Cell Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kvach zb@tut.by.

For citation

Volotovskii I. D., Kvacheva Z. B. Morphology and function basis of the creation artificial skin (dermal equivalents). *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyagichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 2, pp. 96–103.

И. С. Соболевская, О. Д. Мяделец, Е. С. Пашинская

Витебский государственный медицинский университет, Витебск, Республика Беларусь

**ЦИРКАДНЫЕ РИТМЫ И МЕТАБОЛИЗМ ЛИПИДОВ В ЖИВОТНЫХ КЛЕТКАХ.
ЧАСТЬ II. ВЛИЯНИЕ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ НА ОБЩИЙ ПОКРОВ
И ЖИРОВУЮ ТКАНЬ. ДЕСИНХРОНОЗ И ЛИПИДНЫЙ ОБМЕН**

В статье обзорного характера рассматриваются вопросы природы, свойств, организации и функционирования циркадных ритмов и их значение в регуляции физиологических процессов. Анализируются молекулярно-генетические аспекты биологических часов и вопросы их взаимосвязи с обменом липидов. Одними из наиболее важных процессов в организме являются метаболические циркадные ритмы. Существует прямая зависимость между синхронизмом и процессами регуляции синтеза, всасывания и секреции липидов. При этом связь отмечается на нескольких уровнях: биохимическом, молекулярном и генетическом.

Отмечена роль циркадных ритмов в функционировании и строении кожи и жировой ткани, которые, в свою очередь, обладают автономными циркадными осцилляторами. При этом часовые гены регулируют активность многочисленных тканеспецифичных генов, переводя таким образом суточную информацию в физиологически значимые сигналы.

Значительная часть статьи посвящена вопросам десинхроноза, его причинам и последствиям. Суточные нарушения, вызванные внешними или внутренними факторами, способны привести к срыву регуляторных систем организма и последующему развитию метаболических нарушений и тканевых повреждений, что, в свою очередь, может стать причиной дезадаптации организма.

Ключевые слова: циркадные ритмы, десинхроноз, гены, метаболизм липидов, кожа, белая жировая ткань.

I. S. Sobolevskaya, O. D. Myadelets, E. S. Pashinskaya

Vitebsk State Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus

**CIRCADIAN RHYTHM AND LIPID METABOLISM IN ANIMAL CELLS.
PART II. INFLUENCE OF THE CIRCADIAN RHYTHM ON THE SKIN AND FAT TISSUES.
DESYNCHRONIZES AND LIPID METABOLISM**

This review (consisting of 2 parts) deals with the subjects of nature, properties, organization and functioning of the circadian rhythm and its importance in the regulation of physiological processes. Molecular and genetic aspects of the biological clock and its interrelation with lipid metabolism are also considered. Metabolic circadian rhythms are among the most important processes in an organism. There is a direct relationship between synchronicity and the processes of regulation of synthesis, absorption and secretion of lipids. The connection is observed at several levels: biochemical, molecular and genetic.

Particular attention is paid to the influence of the circadian rhythm on the functioning and structure of skin and fat tissues which, in its turn, have autonomous circadian oscillators. In this case, the watch genes regulate the activity of numerous tissue-specific genes, thereby translating the daily information into physiologically significant signals.

Considerable part of the article is devoted to the issues of desynchronizes, its causes and consequences. Diurnal disorders caused by external or internal factors can lead to disruption of the organism's regulatory systems, which represents the development of metabolic disorders and tissue damage, which, in turn, can lead to maladaptation of the organism.

Keywords: circadian rhythm, desynchronizes, gens, lipid metabolism, skin, white adipose tissue.

Живые организмы находятся под постоянным влиянием ритмических изменений окружающей среды, которые происходят из-за вращения Земли вокруг своей оси. В попытке оптимально адаптироваться к таким повторяющимся событиям у большинства млекопитающих развилась внутренняя система синхронизации, которая контролирует 24-часовой ритм поведения и физиологических процессов (циркадные часы). Внутренняя синхронность и, следовательно, поведенческие и физиологические ритмы регулируются с помощью иерархической системы центральных и периферических механизмов. Сигналы о внешних периодичностях поступают в центральный водитель ритма, который расположен в супрахиазматическом ядре гипоталамуса. Однако многие

периферические органы и ткани (печень, поджелудочная железа, жировая ткань, кожа и др.) обладают собственными суточными колебаниями и автономным «молекулярным таймером» [1].

Известно, что функционирование центральных и периферических осцилляторов суточных ритмов основано на работе ряда «генов времени». При этом белки CLOCK и BMAL1 как основные факторы транскрипции индуцируют экспрессию негативных регуляторов циркадных ритмов *per1-3* и *cry1/2* посредством связывания элементов промотора E-box. После этого, с задержкой в несколько часов, белковые комплексы PER/CRY входят в ядро и подавляют активность гетеродимеров CLOCK/BMAL1, закрывая тем самым свою собственную транскрипцию. Часовые гены регулируют также активность многочисленных тканеспецифичных генов, переводя таким образом суточную информацию в физиологически значимые сигналы.

Влияние суточных ритмов на общий покров млекопитающих. В связи с развитием таких современных научных направлений, как хронофармакология и хронотерапия, все большее внимание исследователей привлекают вопросы суточного изменения свойств и функций кожи. Хорошо известно, что общий покров, занимая пограничное положение, постоянно подвергается воздействию факторов внешней среды (ультрафиолетовое излучение, влажность, колебания температуры и др.). В связи с этим и многие процессы, протекающие в коже (гидратация, трансэпидермальная потеря воды, капиллярный кровоток, выработка себума, температура, pH, скорость пролиферации кератиноцитов и др.), имеют суточную периодичность [2–4]. Так, G. Yosirovitch с соавт. [3] при исследовании цикличности функционирования дермальных сосудов, установил, что в утренние часы скорость кровотока в коже наиболее низкая, тогда как во второй половине дня, а также ночью – самая высокая. В дальнейшем E. Van Someren [5] обнаружил, что увеличение скорости кожного кровотока в ночное время приводит к потере тепла, что, в свою очередь, вызывает суточные колебания температуры кожи (минимальная отмечается рано утром, а самая высокая – вечером).

В исследованиях M. Verschoore с соавт. [6] установлено, что с циркадной ритмичностью изменяется также и скорость секреции кожного сала. При этом наиболее низкие ее значения зафиксированы ночью, а максимальные – в первой половине дня. Известно, что увеличение экскреции себума коррелирует с повышением температуры кожи в диапазоне 10 % при ее повышении на 1 °C [6]. Однако ряд других авторов приводит доказательства того, что ритмичность выделения секрета сальными железами не зависит от температуры кожи [7].

Еще одним процессом в коже, который проявляет циркадность, является трансэпидермальная потеря воды (TEWL) [8]. Показано, что наиболее высокий уровень TEWL отмечается к концу дня, а самый низкий – утром. Это связывают с тем, что кожа ночью выделяет меньше себума и, следовательно, теряет больше воды, чем в течение дня.

Поскольку кожа подвергается постоянному воздействию внешней среды, ее функции централизованно регулируются и синхронизируются. В то время как организм млекопитающих в целом находится под контролем центральных циркадных часов, кожа содержит собственные периферические осцилляторы, которые регулируют местные процессы. При этом центральные часы, расположенные в SCN, передают циркадную информацию к общему покрову с помощью часовых генов и белков, через сигналы симпатической иннервации, а также посредством секретируемых гормонов (мелатонина, серотонина и др.) [9, 10].

Известно, что многие функции кожи в значительной степени зависят от активности некоторых часовых генов (*bmall*, *per1* и *cry1*), которые работают в молекулярных цепях генерации циркадных ритмов [11]. Так, по данным G. Bjarnason с соавт. [11], наиболее высокий уровень их экспрессии отмечается рано утром (*per1*), поздно днем (*cry1*) и ночью (*bmall*).

Особую роль в функционировании общего покрова играет гормон эпифиза мелатонин [12]. Он не только участвует в таких важных процессах, как рост волос и пигментация, но и выступает как сильный антиоксидант, который защищает ДНК, а также предотвращает перекисное окисление липидов. Существует мнение, что мелатонин проникает через клеточные мембраны и эффективно защищает внутриклеточные структуры от окислительного повреждения [12].

Уровень активных форм кислорода (ROS) также находится под контролем циркадных часов. Так, например, у млекопитающих отмечается увеличение ROS в утренние часы (максимальное

воздействие окружающей среды и УФ), что, в свою очередь, приводит к усилению антиоксидантных свойств кожи [12].

В настоящее время установлено, что мелатонин является также высокоэффективным анти-возрастным фактором [13]. Недавние исследования показали, что этот гормон увеличивает выживаемость, а также уменьшает апоптоз кератиноцитов, фибробластов и лейкоцитов. Это достигается за счет снижения уровня свободных радикалов, ингибирования апоптотических белков и продуктов перекисного окисления липидов [14].

Существенное влияние мелатонин оказывает на функционирование липидного барьера кожи. В исследованиях на крысах показано, что этот гормон снижает уровень жиров общего покрова за счет, во-первых, уменьшения количества циркулирующих липопротеинов, триацилглицеролов и холестерина, а во-вторых, вследствие снижения количества рецепторов к липидам [14]. Кроме того, мелатонин способен оказывать как прямое воздействие на клетки кожи (фибробласты, кератиноциты, меланоциты, адипоциты) через специфические мембранные (MT1, MT2) и ядерные рецепторы (RZR/ROR α , RZR/ROR) [15], так и опосредованное – через другие гормоны (инсулин, глюкокортикоиды, гормон роста, лептин) [16]. Экспериментально установлено, что длительное введение мелатонина приводит к повышению уровня кортикостерона в крови крыс, а, как известно, глюкокортикоиды негативно влияют на функционирование защитного барьера кожи (снижают метаболизм липидов эпидермиса) [15].

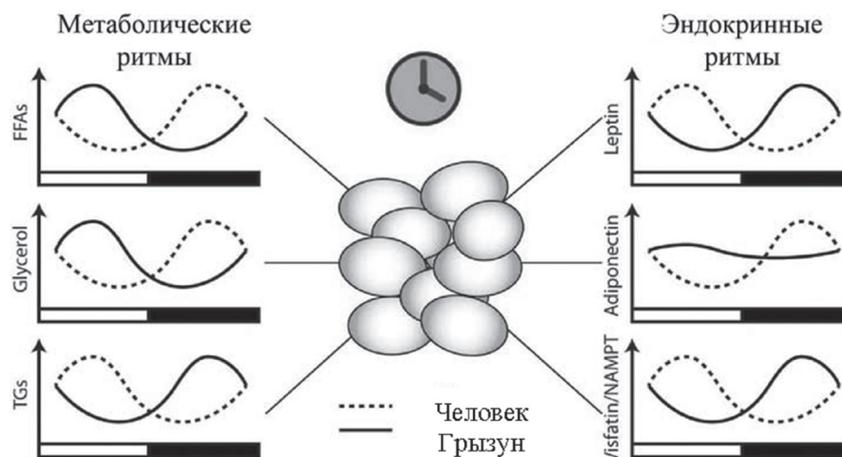
Согласно последним данным, все основные типы клеток кожи (кератиноциты, меланоциты, фибробласты, себоциты и др.) имеют автономную функциональную циркадную систему, которая отражает определенные периоды и фазовые соотношения в экспрессии генов и белков [17]. Так, P. Janich с соавт. [18] при детальном изучении многочисленных путей дифференцировки эпидермальных стволовых клеток обнаружили, что колебание транскрипционного аппарата в них состоит из последовательных волн деления в течение 24 ч. Авторами установлено, что существуют 4–5-часовые фазовые сдвиги, которые необходимы, в свою очередь, для обеспечения функциональных ориентиров и разделения жизненно важных функций кератиноцитов, включая пролиферацию, репарацию ДНК и дифференцировку [18]. R. Sporn с соавт. [19] в экспериментах на животных показали, что активное деление клеток эпидермиса происходит преимущественно в период с поздней ночи до раннего утра (в 30 раз интенсивнее, чем днем) [19]. При этом отмечается, что синтез ДНК (S-период клеточного цикла) достигает максимума примерно в 3.30 утра, в то время как сам митоз (M-фаза) происходит около 23.30 вечера.

В настоящее время в качестве еще одного циркадного фактора транскрипции клеток эпидермиса идентифицирован Kuppel-подобный фактор (Klf9), который регулирует пролиферацию кератиноцитов, контролируя при этом экспрессию генов-мишеней.

Суточные ритмы и жировая ткань. Белая жировая ткань играет важную роль в жизни млекопитающих и человека, являясь крупнейшей по объему тканью с метаболической и эндокринной функциями [20, 21]. Ее количество и распределение отражает энергетический баланс в организме [34]. Белая жировая ткань содержит большую часть общего жира [20]. Кроме того, она является основным источником легкодоступных в качестве энергетических субстратов свободных жирных кислот, принимающих участие в окислительном фосфорилировании [22]. Известно, что процессы липогенеза и липолиза в жировой ткани строго контролируются и постоянно находятся в динамическом равновесии. При этом избыток циркулирующих в крови липидов может привести к липотоксичности, что, в свою очередь, будет способствовать развитию сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета II типа, а также ожирения, тогда как их недостаток может вызвать нарушение репродуктивной функции, нефроз, а также некоторые кожные заболевания (экзему и др.) [23, 24].

Согласно данным литературы, активность жировой ткани сильно варьируется в течение дня. Однако это не просто реакция на внешние раздражители, а сложная взаимосвязанная система синхронизации и координации в течение 24-часового цикла, направленная на обеспечение оптимальной адаптации организмов к изменениям в окружающей среде. Установлено, что жировая ткань содержит собственные циркадные часы. При этом периферические осцилляторы адипоцитов, с одной стороны, контролируют липидный и энергетический метаболизм

путем регуляции импорта триацилглицеролов, а также экспорта свободных жирных кислот и глицерола. С другой стороны, жировая ткань вырабатывает адипокины (лептин, адипонектин, висфарин и др.), секреция которых показывает заметные суточные вариации у людей и грызунов (см. рисунок). Важно отметить, что эти суточные колебания локально регулируются посредством транскрипционных ритмов и ряда ключевых белков [25, 26].



Двойная функция белой жировой ткани по А. Shostak [24].
Черно-белые полоски показывают соответственно ночь и день

Dual function of white adipose tissue (by A. Shostak [24]). Black and white bars indicate night and day

Известно, что экспрессия часовых генов в белой жировой ткани имеет циркадную ритмичность. Механизм основных часовых импульсов в жировой ткани включает в себя систему взаимосвязанных транскрипционно-трансляционных обратных петель (TTL, transcriptional-translational feedback loops) с несколькими вспомогательными механизмами, усиливающими их прочность и стабильность [27].

В 2005 г. F. Turek с соавт. [28] экспериментально доказали, что у ClockD19-мутантных мышей, которые содержались на обычном рационе питания, происходило увеличение сывороточного уровня лептина при действии света. При этом у мышей, которых содержали на диете с высоким содержанием жиров, его количество возрастало более значительно [28]. В 2010 г. B. Grimaldi с соавт. [29] установлено, что некоторые часовые гены являются положительными регуляторами адипогенеза. В своих экспериментах на *per2*-дефицитных мышах ученые обнаружили изменения липидного обмена, которые заключались в резком сокращении триацилглицеролов и неэстерифицированных жирных кислот. В результате этого было доказано, что ген *per2* проявляет свою тормозную функцию путем блокирования рецепторов PPAR γ . Следует напомнить, что рецепторы, активируемые пероксисомными пролифераторами, принимают активное участие в процессах поступления и депонирования липидов адипоцитами из пищи. Экспериментально установлено, что в конце дня отмечается максимальное выражение PPAR γ в клетках белой жировой ткани и печени [29]. Гены, активированные с помощью PPAR γ , стимулируют поглощение липидов жировыми клетками, а также кодируют митохондриальные, пероксисомальные и некоторые микросомальные ферменты метаболизма жирных кислот в печени. Отметим, что PPAR γ является главным регулятором дифференцировки мезенхимальных стволовых клеток в адипоциты. Транскрипция белков PPAR γ индуцируется часовыми белками CLOCK и BMAL1 через интронный E-box [30]. При этом белок BMAL1 связывается с промоторами *Elovl6* и *Scd1* генов, которые ответственны за удлинение и десатурацию свободных жирных кислот, а также участвуют в синтезе полиненасыщенных жирных кислот *de novo* [26].

Другим аспектом действия BMAL1 в белой жировой ткани является регулирование Wnt сигнального пути (Wnt10a, β -катенин, Dvl2), который участвует в подавлении адипогенеза [31]. Известно, что за счет деятельности периферических циркадных часов регулируется приток липидов в адипоциты. Это происходит за счет транскрипционного контроля работы гена *lpl*, который

гидролизует свободные жирные кислоты из триацилглицеролов и облегчает их транспорт через цитоплазматическую мембрану [32, 33].

В настоящее время доказано, что адипогенез коррелирует с индуцированной экспрессией ядерных рецепторов REV-ERB- α/β [34]. Считается, что уровень REV-ERB α резко увеличивается во время дифференцировки адипоцитов, что является негативным регулятором выраженности BMAL1. REV-ERB α демонстрирует также уникальные суточные вариации экспрессии в клетках жировой ткани и печени крыс. В ходе дифференцировки адипоцитов REV-ERB α действует противоположно PPAR γ . Эктопическая экспрессия гена *rev-erba* в преадипоцитах способствует их дифференцировке в зрелые клетки. При этом исследования N. Kumar с соавт. [35] показали, что для дифференцировки адипоцитов требуется активация гена *rev-erba* синтетическими или природными лигандами. В естественных условиях эти лиганды способствуют увеличению расхода энергии. Одновременно наблюдается снижение экспрессии генов, участвующих в синтезе триацилглицеролов (*dgat1*, *dgat2* и *mgat1*), что приводит к уменьшению содержания жира в адипоцитах. В своих исследованиях L. Solt с соавт. [36] подтвердили, что связывание рецепторов REV-ERBs с лигандами приводит к изменению экспрессии генов, регулирующих обмен липидов и глюкозы, а его блокирование стимулирует гипергликемию. Кроме того, обнаружено снижение экспрессии липогенных генов в печени, повышение уровня ферментов, ответственных за окисление глюкозы и жирных кислот, транспорт жирных кислот в мышечную ткань [36].

Десинхроноз. В последние годы ученые и медики уделяют большое внимание изучению влияния факторов среды на организм человека и животных. Существует мнение, что нарушение гомеостатических констант индивидуума связано с изменениями условий труда, более активной и интенсивной умственной и физической деятельностью, нарушением суточных ритмов, температурными колебаниями и некоторыми другими причинами. В результате этого происходит срыв регуляторных систем организма, который заключается в развитии метаболических нарушений с последующими тканевыми повреждениями [37]. Все вышеперечисленные процессы могут стать причиной возникновения подавляющего числа заболеваний за счет дезадаптации организма на физиологическом и биохимическом уровнях [37, 38]. В связи с этим изучение закономерностей возникновения и развития дезадаптационных процессов, а также факторов, предупреждающих или ограничивающих реализацию негативных реакций, имеет особую медицинскую и социальную значимость.

Многочисленные экспериментальные и клинические исследования показали, что одним из основных звеньев в развитии дезадаптационных нарушений являются изменения липидного обмена [37, 38]. Установлено, что в основе метаболического синдрома и растущей «эпидемии» ожирения лежат избыточное потребление пищи и малоподвижный образ жизни. Все больше доказательств приводится в пользу того, что развитию метаболических нарушений способствуют постоянное искусственное освещение, работа в ночное время и добровольное нарушение сна (работа за компьютером, просмотр телевизора и т. д.) [39]. Постоянное воздействие света способствует изменению активности симпатической и парасимпатической систем организма. В результате этого происходит нарушение процессов метаболизма. Такие изменения циркадного поведения приводят к повышению количества потребляемой пищи, снижению липидного обмена и уровня глюкозы, а также к сдвигу гормональных сигналов, отвечающих за чувство насыщения [40].

Таким образом, воздействие света ночью («световое загрязнение») приводит к серьезным расстройствам метаболических процессов, среди которых можно выделить ожирение, артериальную гипертензию и сахарный диабет II типа [41, 42].

Установлено, что десинхроноз является одной из главных причин нарушения структуры и качества сна [43]. Клинические исследования показали, что даже короткие периоды бодрствования ночью могут негативно повлиять на метаболизм в организме. Так, недостаток сна приводит к снижению чувствительности к инсулину, а следовательно, к повышению уровня сахара в крови [44]. По данным A. Laposky с соавт. [45], описанные выше изменения связаны с экспрессией ключевых часовых генов *clock* и *bmall*.

Нарушение режима сна способствует также уменьшению уровня лептина и увеличению количества грелина, что, в свою очередь, будет способствовать повышению аппетита и, таким образом, вызывать увеличение веса [46].

Известно, что энергетический гомеостаз, сон и циркадные ритмы взаимосвязаны между собой на разных уровнях. Так, изменение в структуре «сон–активность» может оказывать влияние на функции центральных и периферических осцилляторов и, в конечном счете, на обмен веществ. Длительные периоды бодрствования и фрагментированного сна могут изменить нормальные режимы потребления пищи и десинхронизировать периферические осцилляторы в основных органах метаболизма (печень, поджелудочная железа) и тканях (белая жировая ткань). Установлено, что поступление пищи ночью (синдром «ночной еды») вызывает повышение индекса массы тела [47]. В целом нарушение регуляции сна может привести к расстройству работы центральных и периферических осцилляторов и нарушению поведения.

Особую роль в развитии метаболических нарушений при десинхронозе играют печень и поджелудочная железа [48]. Установлено, что часовые гены *bmall* и *clock* контролируют уровень глюкозы и липидный гомеостаз [49]. Так, недавние исследования показали, что во время голодания у мышей со специфической делецией гена *bmall* наблюдается гипогликемия, что частично указывает на роль этих генов в поддержании нормального уровня глюкозы [47]. Установлено также, что уровень экспрессии циркадных генов в гепатоцитах млекопитающих снижается при интенсивной жировой нагрузке [45, 46].

Еще одним эффектом деятельности генов *bmall* и *clock* на печень является прямое регулирование уровня фермента гликонеогенеза фосфоенолпируваткарбоксикиназы (PEPCK) [50].

Кофермент NAD также может играть важную роль в циркадном контроле метаболизма глюкозы через зависимые белки NAMPT и SIRT1. Как описано нами ранее, NAMPT и SIRT1 регулируются системой CLOCK/BMAL1 и представляют собой отрицательную петлю обратной связи в пределах активной зоны циркадной сети. Они вовлечены во множество метаболических функций, в том числе и регуляцию гликонеогенеза в печени и секрецию инсулина в островках Лангерганса поджелудочной железы [51]. Так, экспериментальным путем доказано, что у NAMPT-дефицитных (NAMPT +/-) мышей наблюдается нарушение толерантности к глюкозе вследствие изменения секреции инсулина, а у мышей с гиперэкспрессией белка SIRT1 отмечается повышение толерантности к глюкозе и увеличение секреции инсулина. Эти данные свидетельствуют о том, что циркадные гены посредством секреции белков NAMPT и SIRT1 могут воздействовать на выработку инсулина поджелудочной железой [52].

Экспрессия часовых генов и белков оказывает влияние также на липидный гомеостаз в печени за счет воздействия на модуляцию уровня желчных кислот [53]. Так, например, ядерный рецептор REV-ERBa в печени играет важную роль в регуляции метаболизма желчных кислот через регулирование пути их синтеза [54]. REV-ERBa контролирует ежедневную экспрессию генов, участвующих в гомеостазе желчных кислот и липидов через циркадную модуляцию белка SREBP [54,55]. Следует отметить, что REV-ERBa может влиять также на обмен холестерина за счет воздействия на транскрипцию гена *7 α -гидроксилазы (cyp7a1)* [54].

Установлено, что нарушения в механизмах регуляции циркадных часов могут приводить к развитию сердечно-сосудистых расстройств. Все чаще циркадные гены рассматриваются как гены-кандидаты, участвующие в этиологии и патогенезе сердечно-сосудистых заболеваний [56]. Давно доказано, что инфаркт миокарда, эмболия легочной артерии и разрыв аневризмы аорты имеют выраженную циркадную ритмичность с пиком в первой половине дня [56]. Это связано с тем, что, во-первых, в естественных условиях свет предотвращает выработку гормона эпифиза – мелатонина, а, во-вторых, в это время повышаются уровни адреналина, норадреналина и глюкозы в крови, что, в свою очередь, приводит к росту артериального давления и увеличению частоты сердечных сокращений.

По данным К. Knutson с соавт. [57], хронические нарушения суточных ритмов могут увеличить риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. При этом в работе D. Durgan с соавт. [58] приводятся такие данные: посменная работа увеличивает риск сердечных патологий в 3 раза, а у людей, которые спят мене 5 ч в сутки, риск фатального сердечного приступа выше на 45 %.

Экспериментально установлено, что циркадный метаболизм и сократительная функция кардиомиоцитов взаимосвязаны [59]. Осцилляторы циркадных часов в кардиомиоцитах способны

регулировать частоту сердечных сокращений, обмен триацилглицеролов и гликогена, а также модулировать ответные реакции миокарда на внеклеточные факторы (раздражители), такие как жирные кислоты и β -адренергические сигнализации. При этом нарушение синхронной деятельности кардиомиоцитов отрицательно сказывается на функции сердца (способствует патогенезу сердечно-сосудистых заболеваний), приводит к сахарному диабету и/или ожирению [58].

По данным литературы, основными источниками энергии и неотъемлемыми компонентами циркадных часов кардиомиоцитов являются свободные жирные кислоты и углеводы (например, глюкоза) [58]. На воздействие повышенного уровня жирных кислот миокард отвечает увеличением их окислительного метаболизма. Это происходит в целях сохранения концентрации этих субстратов в крови в пределах физиологической нормы. Так, в исследованиях на крысах установлено, что степень сокращения миокарда имеет суточную зависимость. Экспериментально доказано, что при поступлении большого количества свободных жирных кислот ночью наблюдается острая депрессия сердечного выброса [60, 61]. Учитывая такую часовую зависимость, потребление липидов с пищей ночью (по сравнению с приемом в дневное время) оказывает огромное отрицательное воздействие на сердечно-сосудистую систему.

Еще одним аспектом влияния десинхроноза является его воздействие на иммунную систему человека [62]. J. Kueger [63] установлено, что лишение сна приводит к дезрегуляции моноцитов и нарушению производства ими провоспалительных цитокинов (IL-6 и TNF α). Данный факт представляет особый интерес, так как ожирению предшествуют воспалительные состояния [64]. На молекулярном уровне циркадный фактор транскрипции *REV-ERB α* , который содержится в клетках иммунной системы, также может влиять на воспалительный ответ.

C. Gracham с соавт. [65] в своих исследованиях подчеркнули, что женщины являются более чувствительными к десинхронозу, чем мужчины. Так, нарушение в работе циркадных ритмов ночью (воздействие искусственного освещения) способствует снижению уровня гонадолиберина, что, в свою очередь, приводит к ингибированию работы яичников. Ученые связывают это с подавлением секреции мелатонина ночью. Установлено также, что при постоянном (24 ч) воздействии света происходит нарушение секреции гонадотропных гормонов, а следовательно, изменяется функционирование гонад и матки (ановуляция, гиперплазия и др.) [66, 67].

Установлено, что основные циркадные гены играют важную роль также и в тканевом гомеостазе и онкогенезе. Нарушение циркадных ритмов все чаще связывают с различными формами рака у людей. Многочисленные исследования показывают, что циркадные часовые гены участвуют в развитии опухолей. Так, снижение по сравнению с нормальными тканями уровня экспрессии генов *per1* и *per2* наблюдается при опухолях молочной железы. Эпигенетическая инактивация *bm11* приводит к развитию злокачественных опухолей путем нарушения работы периферических циркадных часов [68]. В экспериментах Y. Zhu с соавт. [69] установлено, что генетические вариации в *cry2* и *npas2* увеличивают унаследованную склонность к образованию лимфом. Этими же авторами доказано, что десинхроноз может быть новым фактором риска в канцерогенезе простаты. При этом ген *per1* ингибирует транскрипционную активность рецептора андрогена и способствует онкогенезу предстательной железы. Установлено, что движущим процессом для развития мезотелиомы является также нарушение регуляции часовых генов [70]. В 2009 г. стало известно, что нарушения суточных ритмов способствуют канцерогенезу печени и, возможно, являются одной из причин его инициации. При этом клетки гепатомы менее чувствительны к циркадным сигналам синхронизации [71].

Нарушение обмена липидов в результате десинхроноза играет особую роль в возникновении кожных патологий, таких как псориаз и экзема [72–79]. Результаты недавних исследований показывают, что нарушение резистентности кожи часто обусловлено особенностями распределения в ней нейтральных и полярных липидов, а также свободного холестерина [80, 81]. Лишь недавно в коже были идентифицированы часовые гены, которые отвечают за ритмичность протекания всех процессов в этом органе. Установлено, что гены *clock* и *per2* участвуют в регуляции и поддержании циркадного ритма в общем покрове [12]. Нарушение их функционирования является причиной многих патологических состояний кожи (псориаза, экземы и др.).

Таким образом, исследования циркадных ритмов откроют возможности поиска новых путей ограничения и предупреждения негативных последствий влияния абиотических факторов на экспрессию генов, биохимические параметры, функциональное и структурное состояние органов и тканей, выполнение ими своих специфических функций и, вероятно, помогут осуществить целенаправленную профилактику и лечение при возникновении патологических процессов.

Список использованных источников

1. Lamia, K. Physiological significance of a peripheral tissue circadian clock / K. Lamia, K. Storch, C. Weitz // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2008. – Vol. 105. – P. 15172–15177.
2. Analysis of circadian and ultradian rhythms of skin surface properties of face and forearm of healthy women / I. Le Fur [et al.] // J. Invest. Dermatol. – 2001. – Vol. 117, N 3. – P. 718–724.
3. Time-dependent variations of the skin barrier function in humans: transepidermal water loss, stratum corneum hydration, skin surface pH, and skin temperature / G. Yosipovitch [et al.] // J. Invest. Dermatol. – 1998. – Vol. 110. – P. 20–23.
4. Lubber, A. Therapeutic implications of the circadian clock on skin function / A. Lubber, S. Ensanyat, J. Zeichner // J. Drugs Dermatol. – 2014. – Vol. 13. – P. 130–134.
5. Van Someren, E. Mechanisms and functions of coupling between sleep and temperature rhythms / E. Van Someren // Prog. Brain Res. – 2006. – Vol. 153. – P. 309–324.
6. Circadian variations in the number of actively secreting sebaceous follicles and androgen circadian rhythms / M. Verschoore [et al.] // Chronobiol. Int. – 1993. – Vol. 10. – P. 349–359.
7. Matsui, M. Biological rhythms in the skin / M. Matsui // Int. J. Mol. Sci. – 2016. – Vol. 17, N 6. – P. 801.
8. Circadian activity of topical 0.05 % betamethasone dipropionate in human skin *in vivo* / L. Pershing [et al.] // J. Invest. Dermatol. – 1994. – Vol. 102. – P. 734–739.
9. Geyfman, M. How the skin can tell time / M. Geyfman, B. Andersen // J. Invest. Dermatol. – 2009. – Vol. 129, N 5. – P. 1063–1066.
10. Desotelle, J. The circadian control of skin and cutaneous photodamage / J. Desotelle, M. Wilking, N. Ahmad // Photochem. Photobiol. – 2012. – Vol. 88, N 5. – P. 1037–1047.
11. Circadian expression of clock genes in human oral mucosa and skin: association with specific cell-cycle phases / G. Bjarnason [et al.] // Am. J. Pathol. – 2001. – Vol. 158, N 5. – P. 1793–1801.
12. Skin, reactive oxygen species, and circadian clocks / M. Ndiaye [et al.] // Antioxid. Redox. Signal. – 2014. – Vol. 20. – P. 2982–2996.
13. Melatonin, immune function and cancer / V. Srinivasan [et al.] // Recent. Pat. Endocr. Metab. Immune. Drug Discov. – 2011. – Vol. 5. – P. 109–123.
14. Abbaszadeh, A. Melatonin role in ameliorating radiation-induced skin damage: from theory to practice (a review of literature) / A. Abbaszadeh, G. Haddadi, Z. Haddadi // J. Biomed. Phys. Eng. – 2017. – Vol. 7, N 2. – P. 127–134.
15. Effect of melatonin on lipid barrier in rats' skin / N. Kostiuk [et al.] // Am. J. Biochem. – 2012. – Vol. 2, N 5. – P. 67–73.
16. Effects of short-term melatonin administration on lipoprotein metabolism in normolipidemic postmenopausal women / A. Wakatsuki [et al.] // Maturitas. – 2001. – Vol. 38, N 2. – P. 171–177.
17. Circadian clocks in rat skin and dermal fibroblasts: differential effects of aging, temperature and melatonin / C. Sandu [et al.] // Cell. Mol. Life Sci. – 2015. – Vol. 72. – P. 2237–2248.
18. Human epidermal stem cell function is regulated by circadian oscillations / P. Janich [et al.] // Cell Stem Cell. – 2013. – Vol. 13. – P. 745–753.
19. Kriippel-like factor 9 is a circadian transcription factor in human epidermis that controls proliferation of keratinocytes / R. Sporl [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2012. – Vol. 109 (27). – P. 10903–10908.
20. Adipose tissue as an endocrine organ: from theory to practice / M. H. Fonseca-Alaniz [et al.] // J. Pediat. – 2007. – Vol. 83, N 5. – P. s192–s203.
21. Adipose tissue sensitivity to radiation exposure / S. Poglio [et al.] // Am. J. Path. – 2009. – Vol. 174, N 1. – P. 44–53.
22. Терешина, Е. В. Возрастная дисфункция жировой ткани / Е. В. Терешина // Геронтология и гериатрия. – 2005. – N 5. – С. 98–101.
23. Lipid homeostasis, lipotoxicity and the metabolic syndrome / R. Unger [et al.] // Biochim. Biophys. Acta. – 2010. – Vol. 1801. – P. 209–214.
24. Circadian regulation of lipid mobilization in white adipose tissues / A. Shostak [et al.] // Diabetes. – 2013. – Vol. 62. – P. 2195–2203.
25. The human circadian metabolome / R. Dallmann [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 2012. – Vol. 109. – P. 2625–2629.
26. Obesity in mice with adipocytespecific deletion of clock component / Paschos G. [et al.] // Arntl. Nat. Med. – 2012. – Vol. 18. – P. 1768–1777.
27. Green, C. The meter of metabolism / C. Green, J. Takahashi, J. Bass // Cell. – 2008. – Vol. 134. – P. 728–742.
28. Obesity and metabolic syndrome in circadian Clock mutant mice / F. Turek [et al.] // Science. – 2005. – Vol. 308 (5724). – P. 1043–1045.
29. PER2 controls lipid metabolism by direct regulation of PPAR γ / B. Grimaldi [et al.] // Cell Metab. – 2010. – Vol. 12, N 5. – P. 509–520.

30. Nuclear receptor expression links the circadian clock to metabolism / X. Yang [et al.] // *Cell*. – 2006. – Vol. 126. – P. 801–810.
31. The clock gene, brain and muscle Arnt-like 1, regulates adipogenesis via Wnt signaling pathway / B. Guo [et al.] // *FASEB J*. – 2012. – Vol. 26. – P. 3453–3463.
32. The nuclear receptor REV-ERB α is required for the daily balance of carbohydrate and lipid metabolism / J. Delezie [et al.] // *FASEB J*. – 2012. – Vol. 26. – P. 3321–3335.
33. Gimble, J. Fat circadian biology / J. Gimble, Z. Floyd // *J. Appl. Physiol.* – 2009. – Vol. 107. – P. 1629–1637.
34. Regulation of circadian behaviour and metabolism by REV-ERB- α and REV-ERB- β / H. Cho [et al.] // *Nature*. – 2012. – Vol. 485. – P. 123–127.
35. Regulation of adipogenesis by natural and synthetic REV-ERB ligands / N. Kumar [et al.] // *Endocrinology*. – 2010. – Vol. 151. – P. 3015–3025.
36. Solt, L. A. Regulation of circadian behaviour and metabolism by synthetic REV-ERB agonists / L. A. Solt, Y. Wang, S. Banerjee // *Nature*. – 2002. – Vol. 485 (7396). – P. 62–68.
37. Надольник, Л. И. Стресс и щитовидная железа / Л. И. Надольник // *Биомед. химия*. – 2010. – Т. 56. – Вып. 4. – С. 443–456.
38. Хныченко, Л. К. Стресс и его роль в развитии патологических процессов / Л. К. Хныченко, Н. С. Сапронов // *Обзоры по клин. фармакологии и лекарств. терапии*. – 2003. – Т. 2, N 3. – С. 2–15.
39. The metabolic consequences of sleep deprivation / K. Knutson [et al.] // *Sleep Med. Rev.* – 2007. – Vol. 11. – P. 163–178.
40. Knutson, K. Associations between sleep loss and increased risk of obesity and diabetes / K. Knutson, E. Van Cauter // *Ann. NY Acad. Sci.* – 2008. – Vol. 1129. – P. 287–304.
41. The clockwork of metabolism / K. Ramsey [et al.] // *Ann. Rev. Nutr.* – 2007. – Vol. 27. – P. 219–240.
42. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting / K. Straif [et al.] // *Lancet Oncol.* – 2007. – Vol. 8. – P. 1065–1066.
43. Inadequate sleep as a risk factor for obesity: analyses of the NHANES / J. Gangwisch [et al.] // *I. Sleep*. – 2005. – Vol. 28. – P. 1289–1296.
44. Spiegel, K. Impact of sleep debt on metabolic and endocrine function / K. Spiegel, R. Leproult, E. Van Cauter // *Lancet*. – 1999. – Vol. 354. – P. 1435–1439.
45. Deletion of the mammalian circadian clock gene BMAL1/Mop3 alters baseline sleep architecture and the response to sleep deprivation / A. Laposky [et al.] // *Sleep*. – 2005. – Vol. 28. – P. 395–409.
46. Short sleep duration is associated with reduced leptin, elevated ghrelin, and increased body mass index / S. Taheri [et al.] // *PLoS Med.* – 2013. – Vol. 62. – P. E62.
47. Colles, S. Night eating syndrome and nocturnal snacking: association with obesity, binge eating and psychological distress / S. Colles, J. Dixon, P. O'Brien // *Int. J. Obes. (Lond.)*. – 2007. – Vol. 31. – P. 1722–1730.
48. Shoelson, S. Obesity, inflammation, and insulin resistance / S. Shoelson, L. Herrero, A. Naaz // *Gastroenterology*. – 2007. – Vol. 132. – P. 2169–2180.
49. Clock Genes and Metabolic Disease / B. Marcheva [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 2009. – Vol. 107, N 5. – P. 1638–1646.
50. BMAL1 and CLOCK, two essential components of the circadian clock, are involved in glucose homeostasis / R. Rucic [et al.] // *PLoS Biol.* – 2004. – Vol. 2. – P. e377.
51. Circadian control of the NAD⁺ salvage pathway by CLOCK-SIRT1 / Y. Nakahata [et al.] // *Science*. – 2009. – Vol. 324. – P. 654–657.
52. Visfatin regulates insulin secretion in beta cells as a systemic NAD biosynthetic enzyme / J. Revollo [et al.] // *Cell Metab.* – 2007. – Vol. 6. – P. 363–375.
53. Galman, C. Bile acid synthesis in humans has a rapid diurnal variation that is asynchronous with cholesterol synthesis / C. Galman, B. Angelin, M. Rudling // *Gastroenterology*. – 2005. – Vol. 129. – P. 1445–1453.
54. Regulation of bile acid synthesis by the nuclear receptor Rev-erb α / H. Duez [et al.] // *Gastroenterology*. – 2008. – Vol. 135. – P. 689–698.
55. REV-ERB α participates in circadian SREBP signaling and bile acid homeostasis / G. Le Martelot [et al.] // *PLoS Biol.* – 2009. – Vol. 7. – P. e1000181.
56. Circadian rhythms and metabolic syndrome: from experimental genetics to human disease / E. Maury [et al.] // *J. Appl. Physiol.* – 2009. – Vol. 107, N 5. – P. 1638–1646.
57. Immunologic principles and immunotherapeutic approaches in ovarian cancer / K. Knutson [et al.] // *Hematol. Oncol. Clin. North. Am.* – 2003. – Vol. 17. – P. 1051–1073.
58. Durgan, D. The Cardiomyocyte Circadian Clock: Emerging Roles in Health and Disease / D. Durgan, M. Young // *Circ. Res.* – 2010. – Vol. 106, N 4. – P. 647–658.
59. The transcriptional repressor DEC2 regulates sleep length in mammals / Y. He [et al.] // *Science*. – 2009. – Vol. 325. – P. 866–870.
60. Intrinsic diurnal variations in cardiac metabolism and contractile function / M. Young [et al.] // *Circ. Res.* – 2001. – Vol. 89. – P. 1199–1208.
61. Diurnal variations in the responsiveness of cardiac and skeletal muscle to fatty acids / Stavinoha M. [et al.] // *Am. J. Physiol.* – 2004. – Vol. 287. – P. E878–E887.
62. Imeri, L. How (and why) the immune system makes us sleep / L. Imeri, M. Opp // *Nat. Rev. Neurosci.* – 2009. – Vol. 10. – P. 199–210.
63. Krueger, J. The role of cytokines in sleep regulation / J. Krueger // *Curr. Pharm. Des.* – 2008. – Vol. 14. – P. 3408–3416.

64. Hotamisligil, G. Nutrient sensing and inflammation in metabolic diseases / G. Hotamisligil, E. Erbay // *Nat. Rev. Immunol.* – 2008. – Vol. 8. – P. 923–934.
65. Examination of the melatonin hypothesis in women exposed at night to EMF or bright light / C. Graham [et al.] // *Environ. Health. Perspect.* – 2001. – Vol. 109. – P. 501–507.
66. Wojtovicz, M. Melatonin and its role in human reproduction / M. Wojtovicz, G. Jakiel // *Ginekol. Pol.* – 2002. – Vol. 73, N 12. – P. 1217–1231.
67. Giammanco, S. Effects of environmental lighting and tryptophan devoid diet on the rat vaginal cycle / S. Giammanco, M. Ernandes, M. La Guardia // *Arch. Physiol. Biochem.* – 1997. – Vol. 105, N 5. – P. 445–449.
68. The role of polymorphisms in circadian pathway genes in breast tumorigenesis / H. Dai [et al.] // *Breast. Cancer Res. Treatment.* – 2011. – Vol. 127. – P. 531–540.
69. Testing the circadian gene hypothesis in prostate cancer: a population-based case-control study / Y. Zhu [et al.] // *Cancer Res.* – 2009. – Vol. 69. – P. 9315–9322.
70. Genome-wide profile of pleural mesothelioma versus parietal and visceral pleura: the emerging gene portrait of the mesothelioma phenotype / O. Røe [et al.] // *PLoS One.* – 2009. – Vol. 4. – P. e6554.
71. Circadian disruption accelerates liver carcinogenesis in mice / E. Filipki [et al.] // *Mutat. Res.* – 2009. – Vol. 680. – P. 95–105.
72. Адаскевич, В. П. Акне вульгарные и розовые / В. П. Адаскевич. – Н. Новгород : НГМА, 2003. – 195 с.
73. Козин, В. М. Псориаз (вопросы патогенеза, клиники, терапии) / В. М. Козин. – Витебск : ВГМУ, 2007. – 227 с.
74. Мяделец, О. Д. Морфофункциональная дерматология / О. Д. Мяделец, В. П. Адаскевич. – М. : Медлит, 2006. – 752 с.
75. Количественный анализ холестерина мембран кератиноцитов эпидермиса при псориазе / Т. М. Повалий [и др.] // *Вестн. дерматологии и венерологии.* – 1997. – № 1. – С. 4–6.
76. Эрнандес, Е. И. Липидный барьер кожи и косметические средства / Е. И. Эрнандес, А. А. Марголина, А. О. Петрухина. – 3-е изд. – М. : КЛАВЕЛЬ, 2005. – 400 с.
77. Boehncke, W.-H. Managing comorbid disease in patients with psoriasis / W.-H. Boehncke [et al.] // *BMJ.* – 2010. – Vol. 340. – P. 200–203.
78. Christofers, E. Comorbidities in psoriasis / E. Christofers // *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* – 2006. – Vol. 20, iss. s2. – P. 52–55.
79. Zouboulis, C. Isotretinoin revisited: pluripotent effects on human sebaceous gland cells / C. Zouboulis // *J. Investig. Dermatol.* – 2006. – Vol. 126. – P. 2154–2156.
80. Морфологические особенности распределения свободного холестерина в эпидермисе при псориазе / О. С. Зыкова [и др.] // *Вестн. Витеб. гос. мед. ун-та.* – 2012. – Т. 11, № 1. – С. 42–47.
81. Соболевская, И. С. Некоторые морфометрические показатели липиднакапливающих и липидсинтезирующих структур кожи человека / И. С. Соболевская // *Вестн. Витеб. гос. мед. ун-та.* – 2012. – Т. 11, № 2. – С. 41–51.

References

1. Lamia K., Storch K., Weitz C. Physiological significance of a peripheral tissue circadian clock. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, vol. 105, pp. 15172–15177. doi: 10.1073/pnas.0806717105.
2. Le Fur I., Reinberg A., Lopez S., Morizot F., Mechkouri M., Tschachler E. Analysis of circadian and ultradian rhythms of skin surface properties of face and forearm of healthy women. *The Journal of Investigative Dermatology*, 2001, vol. 117, no. 3, pp. 718–724. doi: 10.1046/j.0022-202x.2001.01433.x.
3. Yosipovitch G., Xiong GL, Haus E., Sackett-Lundeen L., Ashkenazi I., Maibach HI Time-dependent variations of the skin barrier function in humans: transepidermal water loss, stratum corneum hydration, skin surface pH, and skin temperature. *The Journal of Investigative Dermatology*, 1998, vol. 110, pp. 20–23. doi: 10.1046/j.1523-1747.1998.00069.x.
4. Lubert A., Ensanyat S., Zeichner J. Therapeutic implications of the circadian clock on skin function. *Journal of Drugs in Dermatology*, 2014, vol. 13, pp. 130–134.
5. Van Someren E. Mechanisms and functions of coupling between sleep and temperature rhythms. *Progress in Brain Research*, 2006, vol. 153, pp. 309–324. doi: 10.1016/S0079-6123(06)53018-3.
6. Verschoore M., Poncet M., Krebs B., Ortonne J. Circadian variations in the number of actively secreting sebaceous follicles and androgen circadian rhythms. *Chronobiology International*, 1993, vol. 10, pp. 349–359.
7. Matsui M. Biological Rhythms in the Skin. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, vol. 17, no. 6, p. 801.
8. Pershing L., Corlett J., Lambert L., Poncelet C. Circadian activity of topical 0.05 % betamethasone dipropionate in human skin *in vivo*. *The Journal of Investigative Dermatology*, 1994, vol. 102, pp. 734–739.
9. Geyfman M., Andersen B. How the skin can tell time. *The Journal of Investigative Dermatology*, 2009, vol. 129, no. 5, pp. 1063–1066.
10. Desotelle J., Wilking M., Ahmad N. The circadian control of skin and cutaneous photodamage. *Photochemistry and Photobiology*, 2012, vol. 88, no. 5, pp. 1037–1047. doi: 10.1111/j.1751-1097.2012.01099.x.
11. Bjarnason G., Jordan R., Wood P., Li Q., Lincoln D., Sothern R., Hrushesky W., Ben-David Y. Circadian expression of clock genes in human oral mucosa and skin: association with specific cell-cycle phases. *The American Journal of Pathology*, 2001, vol. 158, no. 5, pp. 1793–1801. doi: 10.1016/S0002-9440(10)64135-1.
12. Ndiaye M., Nihal M., Wood G., Ahmad N. Skin, reactive oxygen species, and circadian clocks. *Antioxidants & Redox Signaling*, 2014, vol. 20, pp. 2982–2996. doi: 10.1089/ars.2013.5645.

13. Srinivasan V., Pandi-Perumal S., Brzezinski A., Bhatnagar K., Cardinali D. Melatonin, immune function and cancer. *Recent patents on endocrine, metabolic, and immune drug discovery endocrine, metabolic & immune drug discovery*, 2011, vol. 5, pp. 109–123.
14. Abbaszadeh A., Haddadi G., Haddadi Z. Melatonin role in ameliorating radiation-induced skin damage: from theory to practice (a review of literature). *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 2017, vol. 7, no. 2, pp. 127–134.
15. Kostyuk N., Zhigulina V., Belyakova M. Effect of melatonin on lipid barrier in rats' skin. *American Journal of Biochemistry*, 2012, vol. 2, no. 5, pp. 67–73. doi: 10.5923/j.ajb.20120205.04.
16. Wakatsuki A., Okatani Y., Ikenoue N., Kaneda C., Fukaya T. Effects of short-term melatonin administration on lipoprotein metabolism in normolipidemic postmenopausal women. *Maturitas*, 2001, vol. 38 (2), pp. 171–177.
17. Sandu C., Liu T., Malan A., Challet E., Pevet P., Felder-Schmittbuhl M. Circadian clocks in rat skin and dermal fibroblasts: differential effects of aging, temperature and melatonin. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2015, vol. 72, pp. 2237–2248. doi: 10.1007/s00018-014-1809-7.
18. Janich P., Toufighi K., Solanas G., Luis N., Minkwitz S., Serrano L., Lehner B., Benitah S. A. Human epidermal stem cell function is regulated by circadian oscillations. *Cell. Stem Cell*, 2013, vol. 13, pp. 745–753. doi: 10.1016/j.stem.2013.09.004.
19. Sporn R., Korge S., Jurchott K., Wunderskirchner M. Kruppel-like factor 9 is a circadian transcription factor in human epidermis that controls proliferation of keratinocytes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, vol. 109, no. 27, pp. 10903–10908. doi: 10.1073/pnas.1118641109.
20. Fonseca-Alaniz M., Takada J., Alonso-Vale M., Lima F. Adipose tissue as an endocrine organ: from theory to practice. *Jornal de Pediatria*, 2007, vol. 83, no. 5, pp. s192–s203. doi: 10.2223/JPED.1709.
21. Pogliano S., Galvani S., Bour S., André M., Prunet-Marcassus B., Pénicaud L., Casteilla L., Cousin B. Adipose tissue sensitivity to radiation exposure. *The American Journal of Pathology*, 2009, vol. 174, no. 1, pp. 44–53. doi: 10.2353/ajpath.2009.080505.
22. Tereshina E. V. Age-related dysfunction of adipose tissue. *Gerontologiya i Geriatriya* [Gerontology and Geriatrics], 2005, no. 5, pp. 98–101.
23. Unger R., Clark G., Scherer P., Orci L. Lipid homeostasis, lipotoxicity and the metabolic syndrome. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2010, vol. 1801, pp. 209–214. doi: 10.1016/j.bbali.2009.10.006.
24. Shostak A., Meyer-Kovac J., Oster H. Circadian regulation of lipid mobilization in white adipose tissues. *Diabetes*, 2013, vol. 62, pp. 2195–2203.
25. Dallmann R., Viola A., Tarokh L., Cajochen C., Brown S. The human circadian metabolome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, vol. 109, pp. 2625–2629. doi: 10.1073/pnas.1114410109.
26. Paschos G., Ibrahim S., Song W., Kunieda T., Grant G., Reyes T., Bradfield C., Vaughan C., Eiden M., Masoodi M. Obesity in mice with adipocytespecific deletion of clock component. *Nature Medicine*, 2012, vol. 18, pp. 1768–1777. doi: 10.1038/nm.2979.
27. Green C., Takahashi J., Bass J. The meter of metabolism. *Cell*, 2008, vol. 134, pp. 728–742. doi: 10.1016/j.cell.2008.08.022.
28. Turek F., Joshu C., Kohsaka A., Lin E., Ivanova G., McDearmon E., Laposky A., Losee-Olson S., Easton A., Jensen D. Obesity and metabolic syndrome in circadian Clock mutant mice. *Science*, 2005, vol. 308 (5724), pp. 1043–1045. doi: 10.1126/science.1108750.
29. Grimaldi B., Bellet M., Katada S., Astarita G., Hirayama J., Amin R., Granneman J., Piomelli D., Leff T., Sassone-Corsi P. PER2 controls lipid metabolism by direct regulation of PPAR γ . *Cell Metabolism*, 2010, vol. 12, no. 5, pp. 509–520. doi: 10.1016/j.cmet.2010.10.005.
30. Yang X., Downes M., Yu R., Bookout A., He W., Straume M., Mangelsdorf D., Evans R. Nuclear receptor expression links the circadian clock to metabolism. *Cell*, 2006, vol. 126, pp. 801–810. doi: 10.1016/j.cell.2006.06.050.
31. Guo B., Chatterjee S., Li L., Kim J., Lee J., Yechoor V., Minze L., Hsueh W., Ma K. The clock gene, brain and muscle Arnt-like 1, regulates adipogenesis via Wnt signaling pathway. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 2012, vol. 26, pp. 3453–3463. doi: 10.1096/fj.12-205781.
32. Delezie J., Dumont S., Dardente H., Oudart H., Gruchez-Cassiau A., Klosen P., Teboul M., Delaunay F., Puvet P., Challet E. The nuclear receptor REV-ERB α is required for the daily balance of carbohydrate and lipid metabolism. *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 2012, vol. 26, pp. 3321–3335. doi: 10.1096/fj.12-208751.
33. Gimble J., Floyd Z. Fat circadian biology. *Journal of Applied Physiology*, 2009, vol. 107, pp. 1629–1637. doi: 10.1152/jappphysiol.00090.2009.
34. Cho H., Zhao X., Hatori M., Yu R., Barish G., Lam M., Chong L., DiTacchio L., Atkins A., Glass C. Regulation of circadian behaviour and metabolism by REV-ERB- α and REV-ERB- β . *Nature*, 2012, vol. 485, pp. 123–127. doi: 10.1038/nature11048.
35. Kumar N., Solt L., Wang Y., Rogers P., Bhattacharyya G., Kamenecka T., Stayrook K., Crumbley C., Floyd Z., Gimble J., Griffin P., Burris T. Regulation of adipogenesis by natural and synthetic REV-ERB ligands. *Endocrinology*, 2010, vol. 151, pp. 3015–3025. doi: 10.1210/en.2009-0800.
36. Solt L. A., Wang Y., Banerjee S. Regulation of circadian behaviour and metabolism by synthetic REV-ERB agonists. *Nature*, 2002, vol. 485 (7396), pp. 62–68. doi: 10.1038/nature11030.
37. Nadol'nik L. I. Stress and thyroid gland. *Biomeditsinskaya khimiya* [Biomedical Chemistry], 2010, vol. 56, no. 4, pp. 443–456 (in Russian).
38. Khnychenko L. K., Sapronov N. S. Stress and its role in the development of pathological processes. *Obzory po klinicheskoy farma kologii i lekarstvennoy terapii* [Reviews of Clinical Pharmacology and Drug Therapy], 2003, vol. 2, no. 3, pp. 2–15 (in Russian).

39. Knutson K., Spiegel K., Penev P., Van Cauter E. The metabolic consequences of sleep deprivation. *Sleep Medicine Reviews*, 2007, vol. 11, pp. 163–178. doi: 10.1016/j.smrv.2007.01.002.
40. Knutson K., Van Cauter E. Associations between sleep loss and increased risk of obesity and diabetes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2008, vol. 1129, pp. 287–304. doi: 10.1196/annals.1417.033.
41. Ramsey K., Marcheva B., Kohsaka A., Bass J. The clockwork of metabolism. *Annual Review of Nutrition*, 2007, vol. 27, pp. 219–240. doi: 10.1146/annurev.nutr.27.061406.093546.
42. Straif K., Baan R., Grosse Y., Secretan B., Ghissassi F., Bouvard V., Altieri A., Benbrahim-Tallaa L., Cogliano V. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncology*, 2007, vol. 8, pp. 1065–1066.
43. Gangwisch J., Malaspina D., Boden-Albala B., Heymsfield S. Inadequate sleep as a risk factor for obesity: analyses of the NHANES I. *Sleep*, 2005, vol. 28, pp. 1289–1296.
44. Spiegel K., Leproult R., Van Cauter E. Impact of sleep debt on metabolic and endocrine function. *Lancet*, 1999, vol. 354, pp. 1435–1439. doi: 10.1016/S0140-6736(99)01376-8.
45. Laposky A., Easton A., Dugovic C., Walisser J., Bradfield C., Turek F. Deletion of the mammalian circadian clock gene BMAL1/Mop3 alters baseline sleep architecture and the response to sleep deprivation. *Sleep*, 2005, vol. 28, pp. 395–409.
46. Taheri S., Lin L., Austin D., Young T., Mignot E. Short sleep duration is associated with reduced leptin, elevated ghrelin, and increased body mass index. *PLoS Medicine*, 2013, vol. 1, no. 3, pp. E62. doi: 10.1371/journal.pmed.0010062.
47. Colles S., Dixon J., O'Brien P. Night eating syndrome and nocturnal snacking: association with obesity, binge eating and psychological distress. *International Journal of Obesity*, 2007, vol. 31, pp. 1722–1730. doi: 10.1038/sj.ijo.0803664.
48. Shoelson S., Herrero L., Naaz A. Obesity, inflammation, and insulin resistance. *Gastroenterology*, 2007, vol. 132, pp. 2169–2180.
49. Marcheva B., Ramsey K., Affinati A., Bass J. Clock genes and metabolic disease. *Journal of Applied Physiology*, 2009, vol. 107, no. 5, pp. 1638–1646. doi: 10.1152/jappphysiol.00698.
50. Rudic R., McNamara P., Curtis A., Boston R., Panda S., Hogenesch J., Fitzgerald G. BMAL1 and CLOCK, two essential components of the circadian clock, are involved in glucose homeostasis. *PLoS Biology*, 2004, vol. 2, pp. e377. doi: 10.1371/journal.pbio.0020377.
51. Nakahata Y., Sahar S., Astarita G., Kaluzova M., Sassone-Corsi P. Circadian control of the NAD⁺ salvage pathway by CLOCK-SIRT1. *Science*, 2009, vol. 324, pp. 654–657. doi: 10.1126/science.1170803.
52. Revollo J., Korner A., Mills K., Satoh A., Wang T., Garten A., Dasgupta B., Sasaki Y., Wolberger C., Townsend R., Milbrandt J., Kiess W., Imai S. Nampt/PBEF/Visfatin regulates insulin secretion in beta cells as a systemic NAD biosynthetic enzyme. *Cell Metabolism*, 2007, vol. 6, pp. 363–375. doi: 10.1016/j.cmet.2007.09.003.
53. Galman C., Angelin B., Rudling M. Bile acid synthesis in humans has a rapid diurnal variation that is asynchronous with cholesterol synthesis. *Gastroenterology*, 2005, vol. 129, pp. 1445–1453. doi: 10.1053/j.gastro.2005.09.009.
54. Duez H., van der Veen J., Duhem C., Pourcet B., Touvier T., Fontaine C., Derudas B., Bauge E., Havinga R., Bloks V., Wolters H., van der Sluijs F., Vennstrom B., Kuipers F., Staels B. Regulation of bile acid synthesis by the nuclear receptor Rev-erb α . *Gastroenterology*, 2008, vol. 135, pp. 689–698. doi: 10.1053/j.gastro.2008.05.035.
55. Le Martelot G., Claudel T., Gatfield D., Schaad O., Kornmann B., Sasso G., Moschetta A., Schibler U. REV-ERB α participates in circadian SREBP signaling and bile acid homeostasis. *PLoS Biology*, 2009, vol. 7, pp. e1000181. doi: 10.1053/j.gastro.2008.05.035.
56. Marcheva B., Ramsey K., Affinati A., Bass J. Clock genes and metabolic disease. *Journal of Applied Physiology*, 2009, vol. 107, no. 5, pp. 1638–1646. doi: 10.1152/jappphysiol.00698.2009.
57. Knutson K., Curiel T., Salazar L., Disis M. Immunologic principles and immunotherapeutic approaches in ovarian cancer. *Hematology/Oncology Clinics of North America*, 2003, vol. 17, pp. 1051–1073.
58. Durgan D., Young M. The cardiomyocyte circadian clock: emerging roles in health and disease. *Circulation Research*, 2010, vol. 106, no. 4, pp. 647–658. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.109.209957.
59. He Y., Jones C., Fujiki N., Xu Y., Guo B., Holder J., Rossner M., Nishino S., Fu Y. The transcriptional repressor DEC2 regulates sleep length in mammals. *Science*, 2009, vol. 325, pp. 866–870. doi: 10.1126/science.1174443.
60. Young M., Razeghi P., Cedars A., Guthrie P., Taegtmeier H. Intrinsic diurnal variations in cardiac metabolism and contractile function. *Circulation Research*, 2001, vol. 89, pp. 1199–1208.
61. Stavinoha M., RaySpellicy J., Hart-Sailors M., Mersmann H., Bray M., Young M. Diurnal variations in the responsiveness of cardiac and skeletal muscle to fatty acids. *American Journal of Physiology*, 2004, vol. 287, pp. E878–E887. doi: 10.1152/ajpendo.00189.2004.
62. Imeri L., Opp M. How (and why) the immune system makes us sleep. *Nature Reviews. Neuroscience*, 2009, vol. 10, pp. 199–210. doi: 10.1038/nrn2576.
63. Krueger J. The role of cytokines in sleep regulation. *Current Pharmaceutical Design*, 2008, vol. 14, pp. 3408–3416.
64. Hotamisligil G., Erbay E. Nutrient sensing and inflammation in metabolic diseases. *Nature Reviews. Immunology*, 2008, vol. 8, pp. 923–934. doi: 10.1038/nri2449.
65. Graham C., Cook M., Gerkovich M., Sastre A. Examination of the melatonin hypothesis in women exposed at night to EMF or bright light. *Environmental Health Perspectives*, 2001, vol. 109, pp. 501–507.
66. Wojtowicz M., Jakiel G. Melatonin and its role in human reproduction. *Ginekologia Polska*, 2002, vol. 73, no. 12, pp. 1217–1231.
67. Giammanco S., Ernandes M., La Guardia M. Effects of environmental lighting and tryptophan devoid diet on the rat vaginal cycle. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 1997, vol. 105, no. 5, pp. 445–449. doi: 10.1076/apab.105.5.445.3287.

68. Dai H., Zhang L., Cao M., Song F., Zheng H., Zhu X., Wei Q., Zhang W., Chen K. The role of polymorphisms in circadian pathway genes in breast tumorigenesis. *Breast Cancer Research and Treatment*, 2011, vol. 127, pp. 531–540. doi: 10.1007/s10549-010-1231-2.
69. Zhu Y., Stevens R., Hoffman A., Fitzgerald L., Kwon E., Ostrander E., Davis S., Zheng T., Stanford J. Testing the circadian gene hypothesis in prostate cancer: a population-based case-control study. *Cancer Research*, 2009, vol. 69, pp. 9315–9322. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-09-0648.
70. Roe O., Anderssen E., Helge E., Pettersen C., Olsen K., Sandeck H., Haaverstad R., Lundgren S., Larsson E. Genome-wide profile of pleural mesothelioma versus parietal and visceral pleura: the emerging gene portrait of the mesothelioma phenotype. *PLoS One*, 2009, vol. 4, p. 6554. doi: 10.1371/journal.pone.0006554.
71. Filipski E., Subramanian P., Carrière J., Guettier C., Barbason H., Lévi F. Circadian disruption accelerates liver carcinogenesis in mice. *Mutation Research*, 2009, vol. 680, pp. 95–105. doi: 10.1016/j.mrgentox.2009.10.002.
72. Adaskevich V. P. *Acne vulgar and pink*. N. Novgorod, NGMA, 2003. 195 p. (in Russian).
73. Kozin V. M. *Psoriasis (questions of pathogenesis, clinic, therapy)*. Vitebsk, VGMU, 2007. 227 p. (in Russian).
74. Myadelets O. D., Adaskevich V. P. *Morphofunctional dermatology*. Moscow, Medlit, 2006. 752 p. (in Russian).
75. Povaliy T. M. Quantitative analysis of cholesterol of epidermal keratinocyte membranes in psoriasis. *Vestnik Dermatologii i Venerologii* [Bulletin of Dermatology and Venereology], 1997, no. 1, pp. 4–6 (in Russian).
76. Ernandes E. I., Margolina A. A., Petrukhina A. O. *Lipid barrier of skin and cosmetics*. Moscow, KLAVEL, 2005. 400 p. (in Russian).
77. Boehncke W.-H., Boehncke S., Schön M. Managing comorbid disease in patients with psoriasis. *BMJ*, 2010, vol. 340, pp. 200–203. doi: 10.1136/bmj.b5666.
78. Christofers E. Comorbidities in psoriasis. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 2006, vol. 20, iss. s2, pp. 52–55. doi:10.1111/j.1468-3083.2006.01773.x.
79. Zouboulis C. Isotretinoin revisited : pluripotent effects on human sebaceous gland cells. *Journal of Investigative Dermatology*, 2006, vol. 126, pp. 2154–2156. doi: 10.1038/sj.jid.5700418.
80. Zykova O. S., Sobolevskaya I. S., Myadelets O. D., Grushin V. N. Morphological features of the distribution of free cholesterol in the epidermis in psoriasis. *Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta* [Bulletin of Vitebsk State Medical University], 2012, vol. 11, no. 1, s. 42–47. (in Russian).
81. Sobolevskaya I. S. Some morphometric parameters of lipid-accumulating and lipid-synthesizing structures of human skin. *Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta* [Bulletin of Vitebsk State Medical University], 2012, vol. 11, no. 2, pp. 41–51. (in Russian).

Информация об авторах

Соболевская Ирина Сергеевна – канд. биол. наук, доцент. Витебский государственный медицинский университет (пр-т Фрунзе, 27, 210023, г. Витебск, Республика Беларусь). E-mail: irinabelikovavgmu@yandex.ru.

Мяделец Олег Данилович – д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой. Витебский государственный медицинский университет (пр-т Фрунзе, 27, 210023, г. Витебск, Республика Беларусь).

Пашинская Екатерина Сергеевна – канд. биол. наук, доцент. Витебский государственный медицинский университет (пр-т Фрунзе, 27, 210023, г. Витебск, Республика Беларусь).

Для цитирования

Соболевская, И. С. Циркадные ритмы и метаболизм липидов в животных клетках. Часть II. Влияние циркадных ритмов на общий покров и жировую ткань. Десинхроноз и липидный обмен / И. С. Соболевская, О. Д. Мяделец, Е. С. Пашинская // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 104–116.

Information about the authors

Irina S. Sobolevskaya – Ph. D. (Biol.), Assistant Professor. Vitebsk State Medical University (27, Frunze Av., 210023, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: irinabelikovavgmu@yandex.ru.

Oleg D. Myadelets – D. Sc. (Med.), Professor, Head of the Department. Vitebsk State Medical University (27, Frunze Av., 210023, Vitebsk, Republic of Belarus).

Ekaterina S. Pashinskaya – Ph. D. (Biol.), Assistant Professor. Vitebsk State Medical University (27, Frunze Av., 210023 Vitebsk, Republic of Belarus).

For citation

Sobolevskaya I. S., Myadelets O. D., Pashinskaya E. S. Circadian rhythm and lipid metabolism in animal cells. Part II. Influence of the circadian rhythm on the skin and fat tissues. Desynchronizes and lipid metabolism. *Vestsi Natsyyanai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 104–116.

**Е. В. Спиридович¹, Т. И. Фоменко¹, А. Б. Власова¹, О. Н. Козлова¹, И. Ф. Вайновская¹,
А. Н. Юхимук¹, С. М. Кузьменкова¹, О. А. Носиловский², В. Н. Решетников¹**

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

АСЕПТИЧЕСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ И БАНК ДНК ЦЕНТРАЛЬНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА НАН БЕЛАРУСИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ СОХРАНЕНИЯ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ

Созданы коллекция асептической культуры и банк ДНК редких и эндемичных видов растений дикорастущей флоры Беларуси и России на основе природных образцов и существующих коллекций *in vitro* стран ЕврАзЭС. Коллекции созданы с целью сохранения биоразнообразия, реинтродукции и разработки подходов к промышленному использованию их образцов. Проводится подбор сред для культивирования редких и эндемичных видов растений, в том числе лекарственных. Семена и меристемы некоторых редких видов растений передаются в криобанк Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН на долгосрочное хранение. Разработаны и применяются методы оценки параметров генетического разнообразия (ГР) популяций охраняемой природной флоры для включения в коллекцию *in vitro* и поддержания оптимальных параметров ГР. Данные о растениях регистрируются в информационно-поисковой системе Hortus Botanicus Centralis-Info.

Ключевые слова: редкие виды растений, природная флора, ботанические коллекции, асептические культуры, *in vitro*, генетическое разнообразие, генетические паспорта, ДНК-банк, информационные ресурсы, HBC-Info.

**E. V. Spiridovich¹, T. I. Fomenko¹, N. B. Vlasava¹, O. N. Kozlova¹, I. F. Vaynovskaya¹,
A. N. Yukhimuk¹, S. M. Kuzmenkova¹, O. A. Nosylovsky², V. N. Reshetnikov¹**

¹Central Botanical Gardens of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

CONSERVATION OF RARE PLANTS IN THE ASEPTIC COLLECTION AND DNA BANK OF THE CENTRAL BOTANICAL GARDEN OF NAS OF BELARUS

In vitro collection of and DNA bank of rare and endemic plant species of wild flora of Belarus and Russia on the basis of natural sources and existing collections in EurAsEC countries were developed. Collections were established for the purpose of conservation, reintroduction and development of industrial use. Optimization of nutrient media for the tissue culture propagation and the deposit of rare and endemic plants species, including medicinal is carried out. Seeds and meristem of several rare species were deposited to Cryobank of the Institute of Plant Physiology named after K.A.Timiryazev of Russian Academy of Sciences for the long-term storage. Methods for assessing the genetic diversity parameters (GD) of natural populations of protected natural flora for inclusion in the collection and preservation and maintenance of optimal parameters of the GR were developed and applied. Data records on plants are deposited in retrieval system 'Hortus Botanicus Centralis – Info'.

Keywords: endangered species; native flora; botanical collection; aseptic cultures; *in vitro*, genetic diversity; genetic passports, DNA banking, accessions, database; information retrieval system; HBC-Info.

Из-за быстрого сокращения природных ареалов распространения многих дикорастущих видов растений, обусловленного активной хозяйственной деятельностью человека и глобальным изменением климата, сохранение биоразнообразия растений становится крайне актуальным. Конвенция о биологическом разнообразии (КБР) и Глобальная стратегия сохранения растений (ГССР) призывают страны содействовать консолидации и обмену информацией в области сохранения и устойчивого использования биологических ресурсов.

Оптимальным направлением для разработки стратегий сохранения исчезающих видов является интегрированный научный подход, сочетающий применение биотехнологических приемов для культуры *in vitro*, рациональное управление образцами коллекции с целью эффективного восстановления исчезающих популяций и видов, использование молекулярно-генетических приемов для документирования и поддержания коллекций, оценку параметров генетического разнообразия (ГР) природных и вновь воссоздаваемых популяций, пополнение коллекций и обмен

информацией [1–4]. Использование методов культуры *in vitro* является оптимальным решением задачи сохранения видов с затрудненным размножением *in situ* и *ex situ*, а также при массовом производстве ценных генотипов растений из коллекций ботанических садов [1, 5–8]. Инновацией в данном направлении является создание банка ДНК образцов [9–14]. Растительные ДНК-банки, появившиеся как новые ресурсы с большим потенциалом для характеристики и использования биоразнообразия существующих ботанических банков (коллекции генетических ресурсов *ex situ*, гербарии, банки семян и полевые резерваты), представляют собой важные национальные и международные ресурсы. Методы ведения этих банков хорошо развиты [15]. Банки ДНК – это хранилища образцов ДНК (в изолированном виде или в отдельных частях растений), например, хозяйственно-ценных видов растений и их диких сородичей. Создание банков ДНК является важной составляющей в плане сохранения и устойчивого использования биоразнообразия растительного мира, в том числе при проведении научных исследований, выявления наиболее продуктивных генотипов хозяйственных культур и культур с повышенным адаптивным потенциалом к внешним факторам среды, количественной оценки параметров генетического разнообразия природных и создаваемых *ex situ* популяций, а также коллекций отдельных таксонов, диагностики болезней и контроля заболеваемости растений в коллекциях. ДНК банки являются одним из источников создания Генбанков [11, 12, 16].

Материалы и методы исследования. Объекты исследования – редкие и эндемичные виды, которые выбраны в соответствии со следующими критериями: 1) принадлежность видов к одной из категорий редкости, принятых в красных книгах, или эндемизм (распространение только на определенной территории); 2) практическая ценность видов (декоративность, лекарственная ценность, значимость для селекции и др.); 3) затруднения в размножении традиционными методами. Для ряда видов осуществлялся сбор семян или частей растений для пополнения коллекции *in vitro* и одновременно неинвазивный отбор материала для молекулярно-генетического анализа (как правило, это 2–3 листа с растения, собранные с 5–30 экземпляров растений, в зависимости от численности природной популяции). Ваучерные образцы хранятся в гербарии Центрального ботанического сада НАН Беларуси (MSKH).

Методики по созданию коллекции *in vitro* редких и исчезающих растений включают следующие этапы: 1) определение уже известных или новых популяций редких видов растений для сбора семян; 2) описание численного и возрастного состава популяции, а также геоботаническое описание места произрастания исследуемого вида; 3) определение донорных особей (не менее 30 штук в популяции, генеративные особи), их морфометрическое описание; 4) обозначение донорных растений бирками; 5) сбор семенного материала (семенных коробочек, плодов и т. д.) с растений-доноров по достижении сроков созревания; 6) описание собранных образцов (число плодов в соцветии, степень развития семян, завязываемость плодов в пределах каждого соцветия и т. д.); 7) составление этикеток на все собранные образцы с указанием вида растения-донора, времени и места сбора, географических координат местности (по возможности), а также ФИО коллекторов; 8) хранение семенного материала до момента посева с целью определения его жизнеспособности, а также его передача на криоконсервацию во Всероссийскую коллекцию клеток высших растений ИФР РАН при комнатной температуре или в холодильнике при +4 °С; 9) стерилизация растительного материала; 10) введение в культуру *in vitro*; 11) размножение и, по необходимости, укоренение *in vitro*; 12) депонирование образцов (в зависимости от специфики образца используются различные способы); 13) адаптация укорененных растений *ex vitro*.

Протокол создания и долговременного хранения препаратов ДНК для представителей *in vitro* коллекции редких видов природной флоры оптимизировали на основании литературных данных для каждого вида на следующих стадиях: 1) хранение растительного материала (при глубокой заморозке (–80 °С) или высушенного с использованием силикагеля), готового для выделения препаратов ДНК; 2) выделение ДНК СТАВ-методом [17, 18] с модификациями; 3) количественная и качественная оценка препаратов; 4) документирование каждого образца с указанием координат и времени места сбора, по возможности с описанием экологических характеристик обитания, количественных характеристик популяции. Разработка протоколов оценки параметров генетического разнообразия проводилась для каждого изучаемого вида и состояла в обнаружении информативной маркерной системы на внутривидовом уровне.

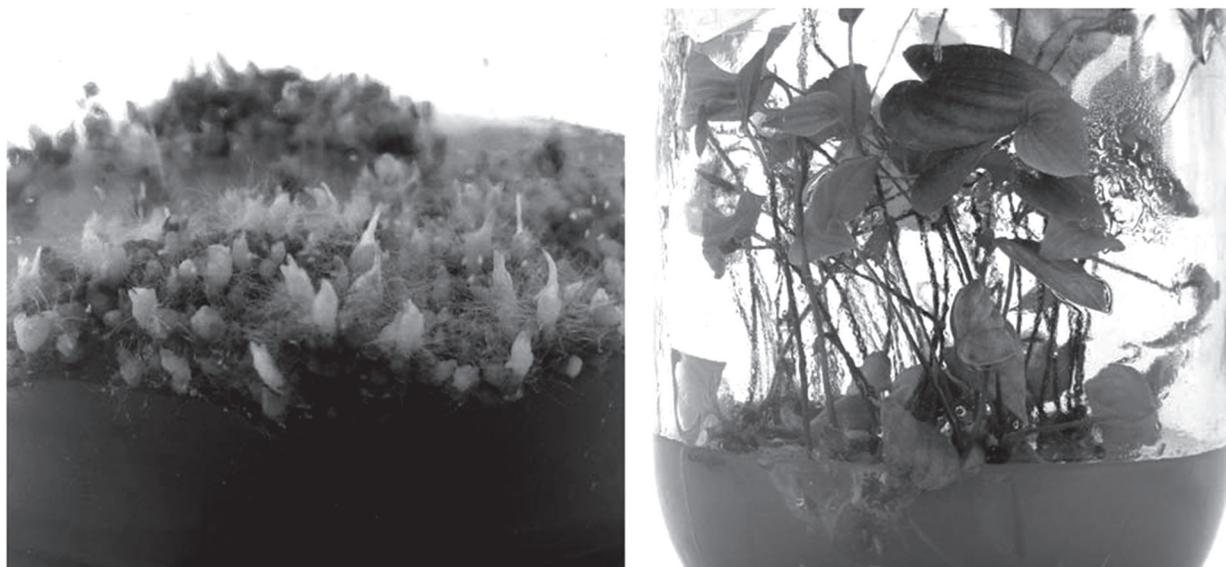


Рис. 1. Асептические культуры редких растений:
слева – *Liparis loeselii* (L.) Rich. (культура сеянцев); справа – *Dioscorea caucasica* Lipsky (культура побегов)

Fig. 1. Aseptic cultures of rare plants:
on the left – *Liparis loeselii* (L.) Rich. (culture of seedlings); on the right – *Dioscorea caucasica* Lipsky (culture of shoots)

Результаты и их обсуждение. В отделе биохимии и биотехнологии растений создана, зарегистрирована в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь, а также постоянно расширяется коллекция асептических культур хозяйственно-полезных растений ЦБС НАН Беларуси (свидетельство Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды № 29 от 2 августа 2005 г.). В настоящее время в ней представлено 242 таксона из более 20 семейств покрытосеменных растений. В 2015 г. из коллекции асептических культур выделена коллекция *in vitro* редких и эндемичных видов растений дикорастущей флоры Беларуси и России. Она создана на основе природных источников и существующих коллекций *in vitro* стран ЕврАзЭС с целью сохранения биоразнообразия растительных ресурсов, реинтродукции и разработки подходов к промышленному использованию ее образцов для получения биотехнологического растительного сырья. В основе разработки коллекции лежит принцип максимального охвата ГР для каждого изучаемого таксона, включая дикорастущие виды, в том числе редкие и исчезающие, редкие таксоны интродуцированных растений [2–4, 19]. Сохранение генофонда в культуре *in vitro* позволяет поддерживать генетические коллекции растений, не допуская серьезных изменений их наследственной структуры. Сегодня в состав коллекции *in vitro* редких и эндемичных видов растений Беларуси и России входит 38 образцов 33 видов, относящихся к 22 родам и 15 семействам покрытосеменных растений [19] (рис. 1, табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Видовой состав коллекции *in vitro* редких и эндемичных видов растений Беларуси и России
T a b l e 1. Species composition *in vitro* collections of rare and endemic plant species of Belarus and Russia

Семейство	Вид	Русское название	Охранный статус	Хранение образца
Actinidiaceae	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq.	Актинидия острая	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Actinidiaceae	<i>Actinidia kolomikta</i> (Rupr. & Maxim.) Maxim.	Актинидия коломикта	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Caryophyllaceae	<i>Silene chalconica</i> (L.) E. H. L. Krause	Зорька халцедонская	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Compositae	<i>Artemisia hololeuca</i> Bieb. ex Bess.	Полынь белойоочная	II категория КК РФ	Культура побегов, среда MS
Compositae	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> Herbich	Хризантема Завадского	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS

Продолжение табл. 1

Семейство	Вид	Русское название	Охранный статус	Хранение образца
Crassulaceae	<i>Sedum subulatum</i> (C. A. Mey.) Boiss.	Очиток шиловидный	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea caucasica</i> Lipsky	Диоскорея кавказская	I категория КК РФ	Культура побегов, среда MS
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea nipponica</i> Makino	Диоскорея японская	II категория КК РФ	Культура побегов, среда MS
Droseraceae	<i>Drosera rotundifolia</i> L.	Росяска круглолистная	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда 1/3 MS
Droseraceae	<i>Drosera anglica</i> Huds.	Росяска английская	Список профилактической охраны РБ	Культура побегов, среда 1/3 MS
Ericaceae	<i>Rhododendron dauricum</i> L.	Рододендрон даурский	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда WPM
Hyacinthaceae	<i>Bellevalia speciosa</i> Woronow ex Grossh.	Бельвалия великолепная	II категория КК РФ	Культура побегов, среда MS
Hypericaceae	<i>Hypericum patulum</i> Thunb.	Зверобой повислый	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Iridaceae	<i>Iris sibirica</i> L.	Ирис сибирский	IV категория КК РБ	Культура побегов, среда MS [20]
Lamiaceae	<i>Agastache rugosa</i> (Fisch. et C. A. Mey.) O. Kuntze	Лофант морщинистый	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Lamiaceae	<i>Melittis sarmatica</i> Klokov	Кадило сарматское	III категория КК РБ	Культура побегов, среда MS
Lamiaceae	<i>Vitex agnus-castus</i> L.	Витекс священный	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Leguminosae	<i>Hedysarum razoumouianum</i> DC.	Копеечник Разумовского	III категория КК РФ	Культура побегов, среда B5
Leguminosae	<i>Hedysarum grandiflorum</i> Pall.	Копеечник крупноцветковый	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда B5
Liliaceae	<i>Lilium caucasicum</i> (Misch. ex Grossh.) Grossh.	Лилия кавказская	II категория КК РФ	Культура побегов, среда MS
Liliaceae	<i>Lilium distichum</i> Nakai	Лилия двурядная	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Liliaceae	<i>Lilium cernuum</i> Kom.	Лилия поникающая	III категория КК РФ	Культура побегов, среда MS
Liliaceae	<i>Lilium pumilum</i> Delile	Лилия карликовая	Региональные КК РФ	Культура побегов, среда MS
Orchidaceae	<i>Anacamptis morio</i> (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase	Анакамптис морио	I категория КК РБ	Культура семян, среда Fast
Orchidaceae	<i>Cypripedium calceolus</i> L.	Венерин башмачок настоящий	III категория КК РБ	Культура семян, среда Fast [21]
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza incarnata</i> (L.) Soo	Пальчатокоренник мясокрасный	Список профилактической охраны РБ	Культура семян, среда Fast [22]
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza baltica</i> (Klinge) Orlova	Пальчатокоренник балтийский	Список профилактической охраны РБ	Культура семян, среда Fast [22]
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza majalis</i> (Reichenb.) P. F. Hunt et Summerhayes	Пальчатокоренник майский	III категория КК РБ	Культура семян, среда Fast [22]
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soo	Пальчатокоренник Фукса	Список профилактической охраны РБ	Культура семян, среда Fast [22]
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza ochroleuca</i> (Wüstnei ex Boll) Holub	Пальчатокоренник желтоватый	II категория КК РБ	Культура семян, среда Fast [22]

Окончание табл. 1

Семейство	Вид	Русское название	Охранный статус	Хранение образца
Orchidaceae	<i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R. Br.	Кокушник комарниковый	III категория КК РБ	Культура семян, среда Fast [21]
Orchidaceae	<i>Liparis loeselii</i> (L.) Rich.	Лосняк Лёзеля	II категория КК РБ	Культура семян, среда Fast [23]
Plantaginaceae	<i>Digitalis grandiflora</i> Mill.	Наперстянка крупноцветковая	Список профилактической охраны РБ	Культура побегов, среда MS [24, 25]

С целью сбора материала редких растений из природных популяций для пополнения коллекции сотрудники отдела регулярно участвуют в экспедициях на территории Республики Беларусь. За последние 5 лет исследовано более 30 локальных популяций редких видов растений и собран растительный материал для получения асептических культур и пополнения банка ДНК. Для некоторых редких видов указаны новые точки произрастания на территории Беларуси, в том числе: для *Coeloglossum viride* (L.) Hartm. – Национальный парк «Нарочанский», для *Hammarbya paludosa* (L.) Kuntze – Березинский биосферный заповедник и окрестности г. Ушачи Витебской обл., для *Sypripedium calceolus* L. – гидрологический заказник «Сервечь», для *Ophrys insectifera* L. – Ушачский район Витебской области [26] и др. Некоторые виды попадают в коллекцию в результате акций по спасению их локальных популяций в Беларуси, в том числе из-за критических изменений условий местообитаний [28]. В результате одной из таких акций (после изменений гидрологического режима) по спасению популяции охраняемого вида растений Гроздовника многораздельного (*Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr.), вида III категории охраны (VU, уязвимый) сотрудниками Центра мониторинга растительного мира Института экспериментальной ботаники (канд. биол. наук И. П. Вознячук, персональное сообщение), в отдел в апреле 2016 г. передано несколько растений вида. Ведется разработка технологии размножения этого вида *ex situ* и *in vitro* с целью последующего возвращения (после получения достаточного числа растений) в природные местообитания. Семена цинны широколистной (*Cinna latifolia* (Trev.) Griseb (I категория охраны) собраны в результате осмотра нарушенного обитания вида в июне 2016 г. [28]. Полушник озерный (*Isoetes lacustris* L.; IV категория охраны) передан Б. П. Власовым и поддерживается в аквакультуре [27, 28].

Сегодня общепринято, что при проведении любых манипуляций с природными популяциями целесообразно проводить оценку параметров ГР исходного и сохраняемого (воспроизводимого) материала [29, 30]. В связи с этим во время экспедиций осуществляли сбор (по возможности) генетически репрезентативного материала с целью поддержания в банке асептической культуры, сохранения, воспроизведения и в дальнейшем возвращения в естественные местообитания. На последнем этапе важно вновь оценить показатели ГР особей, чтобы удостовериться, что не наносится урон генетической структуре естественной популяции [30, 31].

Банк ДНК в ЦБС был создан для интегрирования с существующими коллекциями: гербарными, банками семян, полевыми коллекциями растений, а также с асептической коллекцией редких видов природной флоры, которые являются национальным достоянием Республики Беларусь.

На сегодняшний день ДНК-банк редких и хозяйственно-ценных растений ЦБС состоит из более 100 видов 7 родов 6 семейств [32].

Препараты ДНК для закладки на длительное хранение должны удовлетворять определенным стандартам: препарат ДНК должен быть высокомолекулярным, неповрежденным, определенной концентрации и чистоты, не содержать примесей РНК, белков, ДНКаз, ингибиторов активности Taq полимеразы, чтобы обеспечить возможность их использования в дальнейших исследованиях материала (секвенирование, генотипирование с использованием различных маркерных систем, выяснение филогенетических взаимоотношений между популяциями, разработка регламентов охраны и др.).

В 2014–2016 гг. банк ДНК пополнен более чем 60 образцами исторических недоступных коммерческих сортов пиона молочноцветкового (*Paeonia lactiflora* Pall.) из ботанического сада Matthaei Botanical Gardens and Nichols Arboretum Мичиганского Университета (MBGNA, США),

а также исчезающих видов рода пион (*Paeonia* L.). В табл. 2 приведен генетический паспорт образца № 264861/24.2 коллекции ДНК *Paeonia daurica subsp. mlokosewitschii* (Lomakin) D. Y. Hong, разработанный и хранящийся в отделе биохимии и биотехнологии растений ЦБС с целью оценки родственности генотипов рода *Paeonia*, а также параметров генетического разнообразия *ex situ* популяций видов [33]. Проводится разработка методик введения в культуру и создание *in vitro* коллекции редких представителей рода пион (*Paeonia* L.) с целью их сохранения и размножения.

Т а б л и ц а 2. Генетический паспорт пиона Млокосевича
(*Paeonia daurica subsp. Mlokosewitschii* (Lomakin) D. Y. Hong)

Table 2. Genetic Passport Peony (*Paeonia daurica subsp. Mlokosewitschii* (Lomakin) D. Y. Hong)

№ в банке	Генотип	Маркер			
		Me05Em01	Me05Em10	Me07Em10	Me07Em01
264861/24.2	<i>Paeonia daurica subsp. mlokosewitschii</i> (Lomakin) D. Y. Hong	Me05Em01 ₁₉₀₈	Me05Em10 ₈₆₉	Me07Em10 ₅₇₀	Me07Em01 ₁₁₆₈
		Me05Em01 ₇₃₀	Me05Em10 ₇₄₈	Me07Em10 ₅₅₇	Me07Em01 ₅₂₅
		Me05Em01 ₄₆₄	Me05Em10 ₄₈₅	Me07Em10 ₅₁₀	Me07Em01 ₃₅₆
		Me05Em01 ₄₁₀	Me05Em10 ₃₄₁	Me07Em10 ₄₃₁	Me07Em01 ₃₀₈
		Me05Em01 ₃₄₅	Me05Em10 ₂₉₆	Me07Em10 ₃₇₁	Me07Em01 ₂₃₈
		Me05Em01 ₂₈₃	Me05Em10 ₁₉₉	Me07Em10 ₃₄₂	
		Me05Em01 ₂₅₁		Me07Em10 ₂₉₂	
		Me05Em01 ₁₀₉		Me07Em10 ₂₆₄	
				Me07Em10 ₂₀₀	
				Me07Em10 ₁₆₆	
				Me07Em10 ₁₅₀	

Пополнение образцов идет и за счет обмена материалом между ботаническими садами, что преследует цель снизить риск их исчезновения. Так, в состав асептической коллекции включены образцы из ботанических коллекций России, в том числе: Волгоградского регионального ботанического сада – *Artemisia hololeuca* Bieb. ex Bess., *Silene chalconica* E. N. L. Krause, *Chrysanthemum zawadskii* Herbich, *Dioscorea caucasica* Lipsky, *Lilium caucasicum* (Miscz. ex Grossh.) Grossh. и др.; Центрального сибирского ботанического сада СО РАН – *Lilium distichum* Nakai, *Lilium cernuum* Kom., *Rhododendron dauricum* L. и др.; Таврического национального университета им. В. И. Вернадского – *Vitex agnus-castus* L. С нашей стороны на криохранилище в ИФР РАН передан ряд образцов семян редких и охраняемых видов орхидных природной флоры Беларуси из 17 локальных популяций. В период с 2011 по 2014 г. переданы образцы 8 видов орхидных. Это *Dactylorhiza baltica*, *D. fuchsii*, *D. incarnata*, *D. majalis*, *D. ochroleuca*, *Epipactis helleborine*, *E. palustris*, *P. bifolia*. Собранные в коллекциях образцы в дальнейшем могут быть использованы для сохранения генофонда в генетических банках при обеспечении их эффективного средне- и долгосрочного хранения (в том числе в криобанке), а также для восстановления *in situ* популяций.

Полученные по обмену и собранные в результате экспедиционных обследований образцы редких и исчезающих видов после введения в культуру *in vitro* культивируются в климатических камерах при следующем режиме: температура 25 ± 2 °С, освещенность 3000 лк (или в темноте), фотопериод 16 ч. Основные среды для культивирования коллекционных образцов указаны в табл. 1. Культивирование каждого конкретного генотипа предполагает разработку отдельных модификаций и учет специфики биологии конкретного образца.

Для того чтобы сделать данные о коллекциях культур растений и банке ДНК ЦБС НАН Беларуси доступными для широкой аудитории, их описание выставляется нами в сеть Internet на страницах информационно-поисковой системы НВС-Info (<http://hbc.bas-net.by>) [34]. Адресная информация, история создания коллекций, кураторы и создатели, список образцов на русском и латинском языках доступны на страницах сайта «Ботанические коллекции» (<http://hbc.bas-net.by/bcb>). Данные по ДНК-типированию и другим биоэкологическим свойствам некоторых видов и внутривидовых таксонов можно найти на страницах <http://hbc.bas-net.by/hbcinfo/biochempass.php>

и <http://hbc.bas-net.by/hbcinfo/dnabank.php> соответственно. Более 100 публикаций, в которых представлены новые научные данные, расположены в ботанической библиотеке <http://hbc.bas-net.by/hbcinfo/biblio.php>. Доступ к публикациям возможен по авторам, латинским названиям родов и семейств изученных растений. Информация о названных коллекциях есть на портале ботанических садов России, Беларуси и Казахстана (<http://hortusbotanicus.ru>). Работа в международном проекте позволяет расширить сотрудничество и информационный обмен в целях сохранения биоразнообразия растений.

На базе современных молекулярно-генетических и биотехнологических методов создана комплексная научно обоснованная схема поддержания, сохранения и изучения образцов в коллекции *in vitro* и ДНК-банке ЦБС НАН Беларуси, которые являются частью национального и глобального биологического разнообразия, основой проведения широкого спектра научных исследований, реализации образовательных программ (рис. 2).

Постоянно проводится обмен опытом при создании и развитии коллекций культур растительных клеток, меристем, стерильных растений *in vitro* редких и эндемичных видов растений, в том числе при их культивировании, депонировании при пониженных температурах и криосохранении в ИФР РАН. Организуются школы и семинары, стажировки по методам получения характеристики культур клеток, органов, тканей и растений *in vitro* редких и эндемичных видов, а также по вопросам создания общих для ЕвразЭС баз данных по этим коллекциям. Все это обеспечит согласованное взаимодействие специалистов разных стран с учетом национальных законодательств и ведения красных книг.

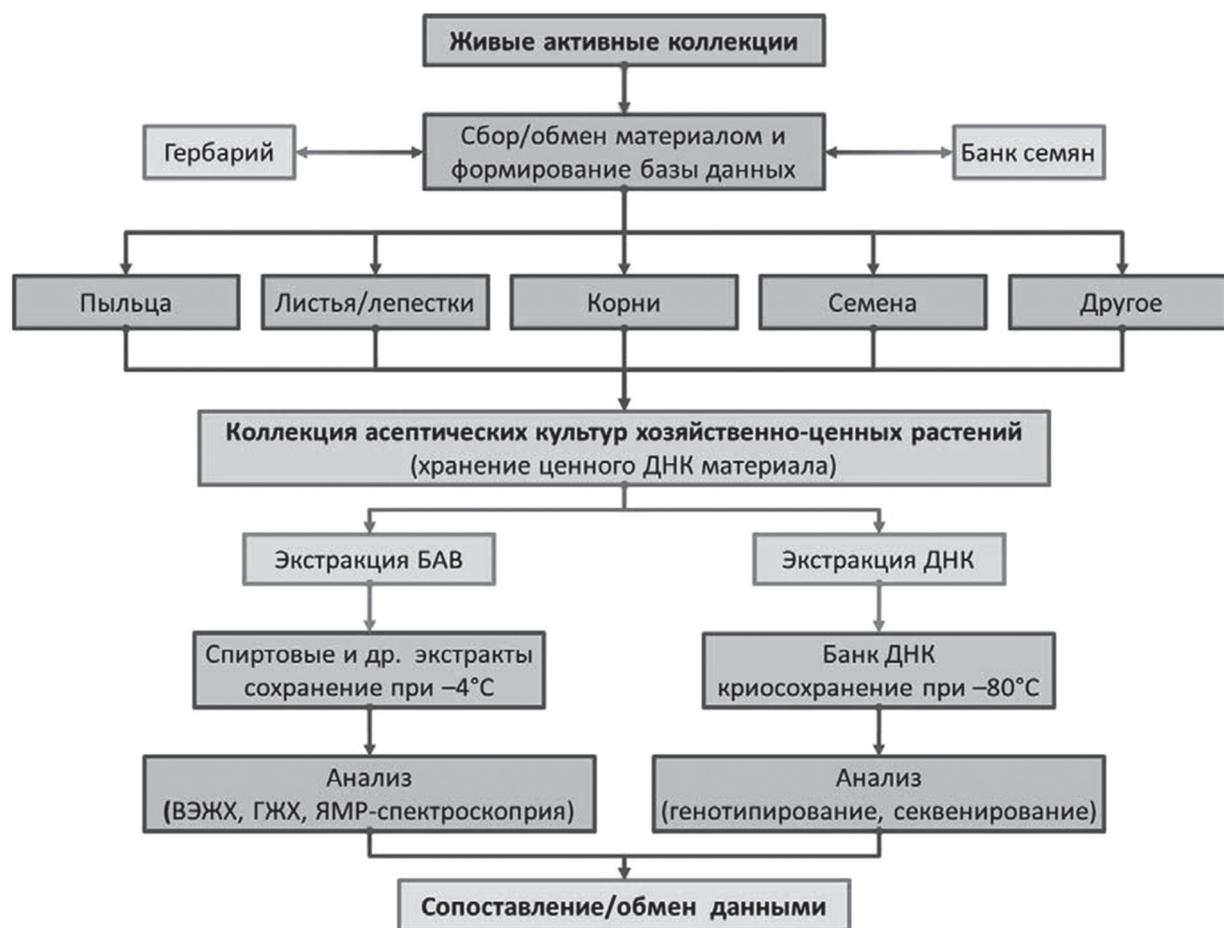


Рис. 2. Комплексная научно обоснованная схема поддержания, сохранения и изучения образцов в коллекции *in vitro* и ДНК-банке ЦБС НАН Беларуси

Fig. 2. Integrated science-based scheme of maintaining, preserving and studying of specimens in collection *in vitro* and DNA bank of the CBG of NAS of Belarus

Благодарности. Работа выполнена в рамках выполнения задания 1.8 «Разработать научные основы создания и организации коллекции *in vitro* редких и эндемичных видов растений с целью сохранения генофонда, реинтродукции и биотехнологического получения растительного сырья» подпрограммы I «Инновационные биотехнологии в Республике Беларусь» МЦП ЕврАзЭС «Инновационные биотехнологии».

Работы по созданию ДНК-коллекции рода *Paonia*, проведение генотипирования на основе ДНК-локусов, создание генотипических сертификатов редких сортов и видов *Paonia* реферируемых коллекций ЦБС и MBGNA Мичиганского университета поддержаны Белорусским фондом фундаментальных исследований (договор № Б15 МС-035, 2015–2017 гг.) и специальным грантом MBGNA. Авторы выражают признательность кураторам коллекций пионов ЦБС НАН Беларуси – научному сотруднику В. В. Гайшун, Мичиганского университета – доктору Дэвиду Мичинеру, директору MBGNA доктору Роберту Гриси и сотрудникам учреждения за плодотворное сотрудничество при проведении совместных исследований.

Acknowledgements. The work was carried out within a project 1.8 “To develop scientific basics for the creation and organization of *in vitro* collection of rare and endemic plant species for the purpose of gene pool conservation, reintroduction and biotechnological production of plant raw materials” inside the EurAsEC program “Innovative biotechnologies”.

A section of works on the creation of DNA collections of the genus *Paonia*, genotyping based on DNA loci, creation of genotypic certificates of rare cultivars and species of *Paonia* of the reference collections of CBG and MBGNA of the University of Michigan were supported by the Belarusian Foundation for Basic Research (contract No Б15 МС-035, for the 2015–2017), special grant of MBGNA. The authors are grateful to the curators of the collections of peonies at the Central Botanical Gardens of NAS of Belarus – scientific researcher Valentina Gaishun, at the University of Michigan – to Dr. David Michiner, to Director of MBGNA Dr. Robert Grese and the staff of the institution for fruitful cooperation in joint research.

Список использованных источников

1. Сохранение растений в генетических банках *in vitro*: преимущества и недостатки / Н. А. Мамаева [и др.] // Бюл. Глав. бот. сада. – 2008. – Вып. 194. – С. 141–149.
2. Использование методов биотехнологии растений для сохранения и изучения биоразнообразия мировой флоры / В. Б. Белокурова [и др.] // Цитология и генетика. – 2005. – N 1. – С. 41–51.
3. Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools / B. M. Reed [et al.] // *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. – 2011. – Vol. 47, N 1. – P. 1–4.
4. Решетников, В. Н. Научные и практические аспекты развития биотехнологии растений в Республике Беларусь / В. Н. Решетников, Е. В. Спиридович // Тр. Белорус. гос. ун-та. Сер.: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – Минск, 2012. – Т. 7, ч. 1. – С. 57–71.
5. Conservation *in vitro* of threatened plants – progress in the past decade / V. Sarasan [et al.] // *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. – 2006. – Vol. 42, iss. 3. – P. 206–214.
6. Paunescu, A. Biotechnology for endangered plant conservation: a critical overview / A. Paunescu // *Romanian Biotechnol. Lett.* – 2009. – Vol. 14, N 1. – P. 4095–4103.
7. Reed, B. M. Technical guidelines for the management of field and *in vitro* germplasm collections / B. M. Reed [et al.] ; International Plant Genetic Resources Institute. – Rom, 2004. – 106 p.
8. Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools / B. M. Reed [et al.] // *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. – 2011. – Vol. 47, N 1. – P. 1–4.
9. Conservation *in vitro* of rare and threatened ferns – case studies of biodiversity hotspot and island species / H. Barnicoat [et al.] // *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. – 2011. – Vol. 47, N 1. – P. 37–45.
10. Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Rome, 2014. – 182 p.
11. Plant variety and cultivar identification: advances and prospects / N. K. Korir [et al.] // *Critical Rev. in Biotechnol.* – 2013. – Vol. 33, N 2. – P. 111–125.
12. De Vicente, M. C. Collecting DNA for conservation : chapter 40 [Electronic resource] / M. C. de Vicente // *Crop Genebank BaseKnowledge. Stengthening capacity to manage genebanks.* – Mode of access: https://croptgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php?option=com_content&view=article&id=667. – Date of access: 12.04.2017.
13. DNA banking for plant breeding, biotechnology and biodiversity evaluation / T. R. Hodkinson [et al.] // *J. of Plant Res.* – 2007. – Vol. 120, N 1. – P. 17–29.

14. Karp, A. Molecular Techniques in the Assessment of Botanical Diversity / A. Karp, O. Seberg, M. Buiatti // *Annals of Botany*. – 1996. – Vol. 78. – P. 143–149.
15. Bridson, D., Forman, L. The Herbarium Handbook / D. Bridson, L. Forman (editors) ; Royal Botanic Gardens. – Kew, 1992. – 303 p.
16. Savolainen, V. A plea for DNA banking / V. Savolainen, G. Reeves // *Science*. – 2004. – Vol. 304. – P. 1445.
17. Rapid DNA extraction from ferns for PCR-based analyses / E. L. Dempster [et al.] // *Biotechniques*. – 1999. – Vol. 27, N 1. – P. 66–68.
18. Рябушкина, Н. А. Специфика выделения ДНК из растительных объектов / Н. А. Рябушкина, М. Е. Омашева, Н. Н. Галиакпаров // *Биотехнология. Теория и практика*. – 2012. – № 2. – С. 9–26.
19. Асептические коллекции и банк ДНК редких растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси / Е. В. Спиридович [и др.] // *Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 7–9 окт. 2015 г.* – Минск, 2015. – С. 473–478.
20. Вайновская, И. Ф. Разработка биотехнологических приемов сохранения и размножения Ириса сибирского (*Iris sibirica* L.) сем. Iridaceae / И. Ф. Вайновская, Т. И. Фоменко // *Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры : материалы юбил. конф., посвящ. 80-летию ЦБС НАН Беларуси, Минск, 19–22 июня 2012 г.* – Минск, 2012. – С. 384–387.
21. Козлова, О. Н. Разработка асимбиотических методов культивирования для сохранения редких видов орхидных природной флоры Беларуси / О. Н. Козлова, Т. И. Фоменко // *Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира : материалы междунар. науч. конф., Минск–Нарочь, 23–26 сент. 2014 г.* – Минск, 2014. – С. 332–334.
22. Козлова О. Н. Культура *in vitro* орхидных умеренного климата в ЦБС НАН Беларуси // *Теоретические и прикладные аспекты биохимии и биотехнологии растений : сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф., Минск, 14–16 мая 2008 г.* – Минск, 2008. – С. 252–256.
23. Козлова, О. Н. Оптимизация условий инициации асептических культур двух охраняемых видов орхидных *Liparis loeselii* (L.) Rich. и *Listera ovata* (L.) R. Вг. / О. Н. Козлова, Е. В. Андриевская, В. В. Ширвель // *Охрана и культивирование орхидей : сб. ст. X Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 1–5 июня 2015 г.* / Центр. ботан. сад Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: В. В. Титок [и др.]. – Минск, 2015. – С. 92–95.
24. Морфогенез и микрклональное размножение в культуре *in vitro* представителей рода *Digitalis* L. / Л. Г. Бердичевец [и др.] // *Биология клеток растений in vitro и биотехнология : тез. IX Междунар. науч. конф.* – Звенигород, 2008. – С. 44.
25. Фоменко, Т. И. Разработка методов депонирования наперстянки пурпурной *Digitalis Purpurea* L. / Т. И. Фоменко, Л. Г. Бердичевец // *Биотехнологические приемы в сохранении биоразнообразия и селекции растений : сб. ст. Междунар. науч. конф., Минск, 18–20 авг. 2014 г.* – Минск, 2014. – С. 240.
26. Кручонок, А. В. Новое местонахождение редкого вида растения *Ophrys insectifera* L. (*Orchidaceae* Juss.) в Витебской области / А. В. Кручонок, О. Н. Козлова, М. А. Бедуленко // *Растительность болот: современные проблемы классификации, картографирования, использования и охраны : материалы II Междунар. науч. семинара, Минск, 24–25 сент. 2015 г.* / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т эксперим. ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси, Белорус. бот. о-во. – Минск, 2015. – С. 65–67.
27. Мультилокусное ДНК-маркирование (RAPD и ISSR) как основа комплексной оценки популяционно-генетических ресурсов редких видов растений / А. Б. Власова [и др.] // *Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды = Lake ecosystems: biological processes, anthropogenic transformation, water quality : тез. докл. IV Междунар. науч. конф., 12–17 сентября 2011 г., Минск – Нарочь* / [сост. и общ. ред. Т. М. Михеевой] ; Бел. гос. ун-т, биол. факультет, Науч.-исслед. лаборатория гидроэкологии, Учеб.-науч. центр «Нарочанская биологическая станция им. Г. Г. Винберга», Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, Нац. парк «Нарочанский». – Минск : Изд. центр Бел. гос. ун-та, 2011. – С. 52–53.
28. Власова, А. Б. Лабораторный регламент на методику генетического мониторинга популяций редких и охраняемых видов растений с использованием молекулярных маркеров (RAPD и ISSR) / А. Б. Власова, А. Н. Юхимук, М. С. Тухфатуллина ; Центр. бот. сад Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2012. – 19 с.
29. Brown, A. H. D. Sampling Strategies for Genetic / A. H. D. Brown, J. D. Briggs // *Genetics and conservation of rare plants* / D. A. Falk [et al.]. – New York, 1991. – P. 99–119.
30. DNA banking for plant breeding, biotechnology and biodiversity evaluation / T. R. Hodkinson [et al.] // *J. Plant Res.* – 2007. – Vol. 120, N 1. – P. 17–29.
31. Schaal, B. Ex situ plant conservation Book. Population genetic issues in *ex situ* plant conservation / B. Schaal, W. Leverich. – Washington : Island Press, 2004. – P. 267–285.
32. Коллекция *in vitro* и банк ДНК редких видов растений в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси / Спиридович Е. В., Фоменко Т. И., Власова А. Б., Вайновская И. Ф., Юхимук А. Н., Решетников В. Н. // *Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты) : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 30-летию отд. биотехнологии растений Никит. бот. сада, Симферополь, 25 сент.–1 окт. 2016 г.* / Рос. акад. наук [и др.]. – Симферополь, 2016. – С. 160–161.
33. Genetic differentiation of historic cultivars of herbaceous *Paeonia* based on SRAP markers: documentation and conservation of botanic collections / N. B. Vlasava [et al.] // *Works of the State Nikit. Bot. Garden*. – 2014. – Vol. 139. – P. 187–199.

34. Опыт создания информационно-поисковой системы НВС-Info в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси / С. М. Кузьменкова [и др.] // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры = Assessment, Conservation and Sustainable Use of Plant Biological Diversity : материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию Центр. бот. сада Нац. акад. наук Беларуси (19–22 июня 2012 г., Минск, Беларусь) : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Центр. бот. сад Нац. акад. наук Беларуси ; [редкол.: В. В. Титок (отв. ред.) и др.]. – Минск, 2012. – Ч. 1. – С. 163–167.

References

- Mamaeva N. A., Vetchinkina E. M., Gorbunov, Yu. N., Molkanova, O. I. Preservation of plants in genetic banks *in vitro*: advantages and disadvantages. *Biulleten' gosudarstvennogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the State Botanical Garden], 2008, iss. 194, pp. 141–149. (in Russian).
- Belokurova V. B., Listvan E. V., Maistrov P. D., Sikura J. J., Gleba Y. Y., Kuchuk N. V. Use of plant biotechnology methods for the conservation and study of the biodiversity of the World flora. *Tsitologiya i genetika* [Cytology and Genetics], 2005, no. 1, pp. 41–51. (in Russian).
- Reed B. M., Sarasan V., Kane M., Bunn E., Pence V. C. Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2011, vol. 47, no. 1, p. 1–4. doi:10.1007/s11627-010-9337-0.
- Reshetnikov V. N., Spiridovich E. V. Scientific and practical aspects for the development of plant biotechnology in the Republic of Belarus. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekuliarnye osnovy funktsionirovaniia biosistem* [Proceedings of the Belarusian State University. Series: Physiological, biochemical and molecular basis of functioning of biosystems], 2012, vol. 7, part 1, pp. 57–71. (in Russian).
- Sarasan V., Cripps R., Ramsay M. M., Atherton C., McMichen M., Prendergast G., Rowntree J. K. Conservation *in vitro* of threatened plants – progress in the past decade. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2006, vol. 42, iss. 3, pp. 206–214. doi:10.1079/IVP2006769.
- Paunescu A. Biotechnology for endangered plant conservation: a critical overview. *Romanian Biotechnological Letters*, 2009, vol. 14, no. 1, pp. 4095–4103. doi: 10.1007/978-3-319-09381-9_10.
- Reed B. M., Engelmann F., Dulloo M.E., Engels J. M. M. Technical guidelines for the management of field and *in vitro* germplasm collections. IPGRI Handbooks for Genebanks No. 7, International Plant Genetic Resources Institute, Rom, 2004. 106 p.
- Reed B. M., Sarasan, V., Kane M., Bunn E., Pence V. C. Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 1–4. doi:10.1007/s11627-010-9337-0.
- Barnicoat H., Cripps R., Kendon J., Sarasan V. Conservation *in vitro* of rare and threatened ferns – case studies of biodiversity hotspot and island species. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2011, vol. 47, no. 1, pp. 37–45.
- Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2014. 182 p.
- Korir N. K., Han J., Shangguan L., Wang C., Kayesh E., Zhang Y., Fang J. Plant variety and cultivar identification: advances and prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2013, vol. 33, no. 2, pp. 111–125.
- De Vicente M. C. Collecting DNA for conservatio : chapter 40. *Crop Genebank BaseKnowledge. Stenghtening capacity to manage genebanks*. Available at: https://croptgenebank.sgrp.cgiar.org/index.php?option=com_content&view=article&id=667 (accessed: 12. 04.2017).
- Hodkinson T. R., Waldren S., Parnell J. A., Kelleher C. T., Salamin K., Salamin N. DNA banking for plant breeding, biotechnology and biodiversity evaluation. *Journal of Plant Research*, 2007, vol. 120, no. 1, pp. 17–29.
- Karp A., Seberg O., Buiatti M. Molecular Techniques in the Assessment of Botanical Diversity. *Annals of Botany*, 1996, vol. 78, pp. 143–149.
- Bridson G. D. R., Forman L. *The Herbarium Handbook* Royal, Botanic Gardens. Kew, 1992. 303 p.
- Savolainen V., Reeves G. A plea for DNA banking. *Science*, 2004, vol. 304, pp. 1445.
- Dempster E. L., Pryor K. V., Francis D., Young J. E., Rogers H. J. Rapid DNA extraction from ferns for PCR-based analyses. *Biotechniques*, 1999, vol. 27, no. 1, pp. 66–68.
- Rjabushkina N. A., Omasheva M. E., Galiakparov N. N. Specificity of DNA isolation from plant objects. *Biotehnologiya. Teorija i praktika* [Biotechnology. Theory and practice], 2012, no. 2, pp. 9–26. (in Russian).
- Spiridovich E. V., Vlasava A. B., Fomenko T. I., Kozlova O. N., Vainovskaia I. F., Iukhimuk A. N., Kuz'menkova S. M., Reshetnikov V. N. Aseptic collections and DNA bank of rare plants of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Problemy sokhraneniia biologicheskogo raznoobrazii i ispol'zovaniia biologicheskikh resursov : materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Problems of conservation of biological diversity and use of biological resources: Proceedings of the International scientific conference], Minsk, 2015, pp. 473–478. (in Russian).
- Vainovskaia I. F., Fomenko T. I. Development of biotechnology methods for the conservation and reproduction of *Iris sibirica* L. (Fam. *Introduktsiia, sokhranenie i ispol'zovanie biologicheskogo raznoobrazii mirovoi flory : materialy jubileinoi konferentsii, posviashchennoi 80-letiiu Tsentral'nogo batanicheskogo sada Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Introduction, conservation and use of the biological diversity of the world's flora: Materials of the jubilee conference dedicated to the 80th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus]. Minsk, 2012, pp. 384–387. (in Russian).
- Kozlova O. N., Fomenko T. I. Development of asymbotic cultivation methods for conservation of rare species of orchids in Belarus. *Sovremennoe sostoianie, tendentsii razvitiia, ratsional'noe ispol'zovanie i sokhranenie biologicheskogo*

raznoobraziya rastitel'nogo mira: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, Minsk–Naroch' [Current state, development trends, rational use and conservation of the biological diversity of the plant world: materials International scientific conference, Minsk–Naroch]. Minsk, 2014, pp. 332–334. (in Russian).

22. Kozlova O. N. *In vitro* culture of temperate climate orchids in the Central Botanical Garden of the NAS of Belarus. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty biokhimii i biotekhnologii rastenii : sbornik nauchnykh trudov III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Theoretical and applied aspects of plant biochemistry and biotechnology: collection of scientific proceedings of the III International scientific conference]. Minsk, 2008, pp. 252–256. (in Russian).

23. Kozlova O. N., Andrievskaia E. V., Shirvel' V. V. Optimizing the conditions of initiating aseptic cultures of two protected species of orchids *Liparis loeselii* (L.) Rich. и *Listera ovata* (L.) R. Br. *Okhrana i kul'tivirovanie orkhidei : sbornik statei X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Protection and cultivation of orchids: a collection of articles of the X International scientific and practical conference]. Minsk, 2015, pp. 92–95. (in Russian).

24. Berdichevets L. G., Berdichevets I. N., Maljush M. K., Fomenko T. I. Morphogenesis and microclonal propagation *in vitro* culture of representatives of the genus *Digitalis* L. *Biologiya kletok rastenii in vitro i biotekhnologiya: tezisy IX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Biology of plant cells in vitro and biotechnology: theses of the IX International scientific conference]. Zvenigorod, 2008, p. 44. (in Russian).

25. Fomenko T. I., Berdichevets L. G. Development of methods for depositing of *Digitalis purpurea* L. *Biotekhnologicheskie priemy v sokhranении bioraznoobrazii i selektsii rastenii : sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Biotechnological methods in the conservation of biodiversity and plant breeding: collection of works International scientific conference]. Minsk, 2014, p. 240. (in Russian).

26. Kruchonok A. V., Kozlova O. N., Bedulenko M. A. New location of a rare species of plant *Ophrys insectifera* L. (Orchidaceae Juss.) in Vitebsk region. *Rastitel'nost' bolot: sovremennye problemy klassifikatsii, kartografirovaniia, ispol'zovaniia i okhrany : materialy II Mezhdunarodnogo nauchnogo seminara* [Vegetation of marshes: current problems Classification, mapping, use and protection: materials II International scientific seminar], *Natsional'naia akademiia nauk Belarusi, Institut eksperimental'noi botaniki imeni V. F. Kuprevicha Natsional'noi akademii nauk Belarusi, Belorusskoe botanicheskoe obshchestvo* [National academy of Sciences of Belarus, Institute of Experimental Botany named after V. F. Kuprevich of the National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian Botanical Society], Minsk, 2015, pp. 65–67. (in Russian).

27. Vlasava A. B., Yuhimuk A. N., Tuhfatullina M. S., Dzhus M. A., Vlasov B. P. Multilocus DNA-fingerprinting (RAPD and ISSR) as a basis for integrated assessment of the population-genetic resources of rare plant species. *Ozernye ekosistemy: biologicheskie protsessy, antropogennaia transformatsiia, kachestvo vody* = Lake ecosystems: biological processes, antropogenic transformation, water quality : abstracts of the IV International scientific conference, Minsk–Naroch, Belarusian State University, Faculty of Biology, Scientific and Research Laboratory of Hydroecology, Educational and Scientific Center «Narochanskaya Biological Station named after G. G. Vinberg», Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, National Park «Narochansky». Minsk, Publishing Center of the Belarusian State University, 2011, pp. 52–53. (in Russian).

28. Vlasava A. B., Iukhimuk A. N., Tuhfatullina M. S. Laboratory regulations on methods of genetic monitoring of populations of rare and protected plant species using molecular markers (RAPD and ISSR). *Tsentral'nyi botanicheskii sad Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus]. Minsk, 2012, 19 p. (in Russian).

29. Brown A. H. D., Briggs J. D. Sampling Strategies for Genetic. *Genetics and conservation of rare plants*, Falk D. A., Holsinger K. E. (eds), New York, Oxford University Press, 1991, pp. 99–119.

30. Hodkinson T. R., Waldren S., Parnell J. A., Kelleher C. T., Salamin K., Salamin N. DNA banking for plant breeding, biotechnology and biodiversity evaluation. *Journal of Plant Research*, 2007, vol. 120, no. 1, pp. 17–29. doi:10.1007/s10265-006-0059-7.

31. Schaal B., Leverich W. *Population genetic issues in ex situ plant conservation. Ex situ plant conservation*. Washington, Island Press, 2004, pp. 267–285.

32. Spiridovich E. V., Fomenko T. I., Vlasova A. B., Vajnovskaja I. F., Juhimuk A. N., Reshetnikov V. N. *In vitro* collection and DNA bank of rare plant species in the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Biotekhnologiya kak instrument sokhraneniia bioraznoobrazii rastitel'nogo mira (fiziologo-biokhimicheskie, embriologicheskie, geneticheskie i pravovye aspekty) : materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posviashchennoi 30-letiiu otdela biotekhnologii rastenii Nikitskogo botanicheskogo sada* [Biotechnology as a tool for the conservation of plant biodiversity (physiological, biochemical, embryological, genetic and legal aspects): materials of the VII International scientific and practical conference on the 30th anniversary of the biotechnology department of the Nikitsky Botanical Garden]. Simferopol, 2016, pp. 160–161. (in Russian).

33. Vlasava N. B., Michener D. C., Yuhimuk A. N., Gaishun V. V., Bryant R., Agabalaeva E. D., Spiridovich E. V. Genetic differentiation of historic cultivars of herbaceous *Paeonia* based on SRAP markers: documentation and conservation of botanic collections. *Works of the State Nikitski Botanical Garden*, 2014, vol. 139, pp. 187–199.

34. Kuzmenkova S. M., Nosylovsky O. A., Zavadskaya L. V., Volodko I. K. The experience of creating the information retrieval system HBC-Info in the Central Botanical Garden of the NAS of Belarus. *Introduktsiia, sokhranenie i ispol'zovanie biologicheskogo raznoobrazii mirovoi flory* = Assessment, Conservation and Sustainable Use of Plant Biological Diversity: materials of the International Conference dedicated to the 80th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, in Titok V. V. (ed.), etc., National Academy of Sciences of Belarus, Central Botanical Garden. Minsk, 2012, vol. 2, part 1, pp. 163–167. (in Russian).

Сведения об авторах

Спиридович Елена Владимировна – канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: e.spiridovich@cbg.org.by.

Власова Анастасия Борисовна – канд. биол. наук, доцент, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nastassia_vlasova@yahoo.com.

Козлова Ольга Николаевна – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kozlova_o@yahoo.com.

Вайновская Илона Феликсовна – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ilonavain@mail.ru.

Юхимук Андрей Николаевич – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: andrey.yukhimuk@gmail.com.

Кузьменкова Светлана Михайловна – заведующий сектором. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: msk-hortus@mail.ru.

Носиловский Олег Александрович – заведующий сектором. Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси (ул. Сурганова, 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: oleg@bas-net.by.

Решетников Владимир Николаевич – академик, д-р биол. наук, профессор, заведующий отделом. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Reshetnikov@cbg.org.by.

Для цитирования

Асептическая коллекция и банк ДНК Центрального ботанического сада НАН Беларуси как эффективные инструменты сохранения редких растений / Е. В. Спиридович [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 3. – С. 117–128.

Information about the authors

Elena V. Spiridovich – Ph. D. (Biol.), Assistant Professor, Head of the Laboratory. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: e.spiridovich@cbg.org.by.

Nastassia B. Vlasava – Ph. D. (Biol.), Assistant Professor, Leading researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nastassia_vlasova@yahoo.com.

Olga N. Kozlova – Researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kozlova_o@yahoo.com.

Ilona F. Vaynovskaya – Researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ilonavain@mail.ru.

Andrey N. Yukhimuk – Researcher. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andrey.yukhimuk@gmail.com.

Svetlana M. Kuzmenkova – Head of the Gerbarium. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: msk-hortus@mail.ru.

Oleg A. Nosylovsky – Head of the Sector. The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus (Surganov Str., 6, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oleg@bas-net.by.

Vladimir N. Reshetnikov – Academician, D. Sc. (Biol.), Professor, Head of the Department. Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Reshetnikov@cbg.org.by.

For citation

Spiridovich E. V., Fomenko T. I., Vlasava N. B., Kozlova O. N., Vaynovskaya I. F., Yukhimuk A. N., Kuzmenkova S. M., Nosylovsky O. A., Reshetnikov V. N. Conservation of rare plants in the aseptic collection and DNA bank of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series], 2017, no. 3, pp. 117–128.