



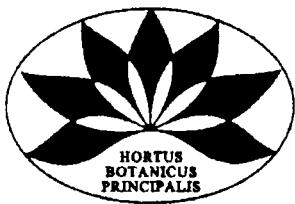
ISSN: 0366-502X

БЮЛЛЕТЕНЬ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

1/2021

(Выпуск 207)





БЮЛЛЕТЕНЬ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

1/2021 (Выпуск 207)

ISSN: 0366-502X

СОДЕРЖАНИЕ

ИНТРОДУКЦИЯ И АККЛИМАТИЗАЦИЯ

Пшеничкина Ю.А.

Биология *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae при интродукции 3

Яценко И.О., Яценко О.В., Михеева С.В.

Пополнение ассортимента коллекции дендрария

Главного ботанического сада РАН 9

Анищенко И.Е., Жигунов О.Ю.

Опыт культивирования *Cephalophora aromatica* Schrad.

в Южно-Уральском ботаническом саду-институте 20

Воронина О.Е., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А.

Сравнение продукционных показателей *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey и сортов *Mediovariegata* и *Univittata*, полученных на ее основе 24

Фирсов Г.А., Волчанская А.В.

Древесные экзоты и аборигены и изменения теплообеспеченности в Санкт-Петербурге 30

АНАТОМИЯ, МОРФОЛОГИЯ

Виноградова Ю.К.

Строение устьичного аппарата у видов рода *Impatiens* 40

БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Ширнина И.В., Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Соболева Е.В.,

Васильева О.Г.

Особенности клonalного микроразмножения *Rubus arcticus* L. 46

Гришин А.П., Гришин А.А., Семенова Н.А., Гришин В.А., Степанов М.В.,

Дорохов А.А.

Исследовательские климатические камеры для растениеводства 51

Гришин А.А., Смирнов А.А., Гришин В.А., Дорохов А.А., Чилингарян Н.О.

Климатические камеры с системой управляемого фитооблучения

для выращивания растений 56

Эраст А.А., Банаев Е.В.

Сохранение и размножение в культуре *in vitro* декоративных форм

тополя селекции ЦСБС СО РАН 61

Учредители:
Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Главный ботанический сад
им. Н.В. Цицина РАН
ООО «Научтехлитиздат»;
ООО «Мир журналов».

Издатель:
ООО «Научтехлитиздат»
Журнал зарегистрирован федеральной
службой по надзору в сфере связи
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации
СМИ ПИ № ФС77-46435

Подписные индексы
«Пресса России» 11184

Главный редактор:
Успенников В.П., канд. биол. наук,

Россия

Зам. главного редактора:
Горбунов Ю.Н., доктор биол. наук,

Россия

Редакционная коллегия:
Бондарина И.А., доктор биол. наук,

Россия

Виноградова Ю.К., доктор биол. наук

Россия

Горбунова Е.О., канд. биол. наук

Россия

Иманбаева А.А., канд. биол. наук,

Казахстан

Квеситадзе Г.И., доктор биол. наук,
академик НАН Грузии, президент НАН

Грузии, действительный член МААН,

Грузия

Молканова О.И., канд. с/х наук, Россия

Решетников В.Н., доктор биол. наук,

Беларусь

Романов М.С., канд. биол. наук, Россия

Темботова Ф.А., доктор биол. наук,

проф., чл.-корр. РАН (Россия)

Ткаченко О.Б., доктор биол. наук,

Россия

Цивадзе А.Ю., доктор хим. наук,

академик РАН

Шатко В.Г., канд. биол. наук, Россия

Швецов А.Н., канд. биол. наук, Россия

Huang Hongwen, Prof., China

Peter Wyse Jackson, Dr., Prof., USA

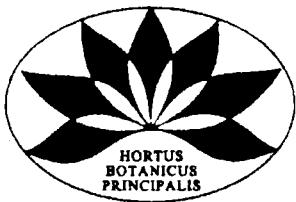
Дизайн и верстка:
ИП Ивашкин Дмитрий Геннадиевич

ОГРНИП 319774600595516

Адрес редакции:
107258, Москва,
Альмов пер., д. 17, корп. 2
«Издательство, редакция журнала
“Бюллетень Главного
ботанического сада”
Тел.: +7 (916) 186-56-46
+7 (499) 168-24-28
E-mail: rbs20ba@mail.ru
rbs20bs@yandex.ru
bulletininbotanicalgarden@mail.ru

Подписано в печать 25.03.2021 г.
Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл.-печ. л. 12,4.
Уч.-изд. л. 14,5. Заказ № 888
Тираж 300 экз.

Оригинал-макет и электронная
версия подготовлены
ООО «Научтехлитиздат»
Отпечатано в типографии
ООО «Научтехлитиздат»,
107258, Москва, Альмов пер., д. 17, стр. 2
www.tgizd.ru



BULLETIN MAIN BOTANICAL GARDEN

1/2021 (Выпуск 207)

ISSN: 0366-502X

CONTENTS

INTRODUCTION AND ACCLIMATIZATION

Pshenichkina Yu.A.

Biology of *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae at introduction 3

Yatsenko I.O., Yatsenko O.V., Mikheeva S.V.

Replenishment of the assortment of the arboretum collection
of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences 9

Anishchenko I.E., Zhigunov O.Yu.

Experience of *Cephalophora aromatica* Schrad. cultivation
in the South-Ural botanical garden-institute 20

Voronina O.E., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Khokhlacheva J.A.

Comparison of production indicators of *Hosta undulata* (Otto et Dietr.)
Bailey and varieties Mediovariegata and Univittata obtained from it 24

Firsov G.A., Volchanskaya A.V.

Woody exotic and aboriginal species and changes
of temperature at Saint-Petersburg 30

ANATOMY, MORPHOLOGY

Vinogradova Yu.K.

Structure of the stomatal apparatus of *Impatiens* species 40

PLANT BIOTECHNOLOGY

Shirnina I.V., Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Soboleva E.V., Vasilyeva O.G.

Features of clonal micropropagation *Rubus arcticus* L. 46

Grishin A.P., Grishin A.A., Semenova N.A., Grishin V.A., Stepanov M.V.,

Dorokhov A.A.

Research climatic chambers for crop production 51

Grishin A.A., Smirnov A.A., Grishin V.A., Dorokhov A.A., Chilingaryan N.O.

Climatic chambers with a system of controlled phytoirradiation
for growing plants 56

Erst A.A., Banaev E.V.

In vitro conservation and propagation of ornamental forms of poplar
selected by the Central Siberian Botanical Garden SB RAS 61

Founders:
Federal State Budgetary Institution
for Science Main Botanical Gardens
named after N.V. Tsitsin
Russian Academy of Sciences;
Ltd. «Nauchtehizdat»;
Ltd. «The World Of Magazines»

Publisher:
Ltd. «Nauchtehizdat»

The Journal is Registered
by the Federal Service
for Supervision in the Sphere
of Communications
Information Technologies
and Mass Communications
(Roskomnadzor).
Certificate of Print Media Registration
№ ФС77-46435

Subscription Numbers:
«Press of Russia» 11184

Editor-In-Chief
Upelniek V.P., Cand. Sci. Biol.
Deputy Editor-in-Chief
Gorbunov Yu.N., Dr. Sci. Biol.

Editorial Board:
Bondorina I.A., Dr. Sci. Biol.
Vinogradova Yu.K., Dr. Sci. Biol.
Gorbunova E.O., Cand. Sci. Biol.
Imanbaeva A.A., Cand. Sci. Biol.
Kveatidze G.I., Dr. Sci. Biol.

*Academician of the National Academy
of Sciences of Georgia, President of the
National Academy of Sciences of Georgia,
Full Member of IAAS, Georgia*

Molkanova O.I., Cand. Sci. Agriculture
Reshetnikov V.N., Dr. Sci. Biol., Prof.
Romanov M.S., Cand. Sci. Biol.

Tembotova F.A., Dr. Sci. Biol., Professor.
*Corresponding Member of the Russian
Academy of Sciences*

Tkachenko O.B., Dr. Sci. Biol.
Tsivadze A.Yu., Dr. Sci. Chem., Professor,
*Academician of the Russian Academy
of Sciences*

Shatko V.G., Cand. Sci. Biol.
Shvetsov A.N., Cand. Sci. Biol.
Huang Hongwen, Prof.
Peter Wyse Jackson, Dr., Prof.

Design, Make-Up
individual entrepreneur Ivashkin Dmitry
Gennadievich
OGRNIP 319774600595516

Editorial Office Address:
107258, Moscow,
Alymov Pereulok, 17, Bldg 2.
«Ltd. The Publishing House, Editors
"Bulletin Main Botanical Garden"»
Phone: +7 (916) 185-55-45
+7 (499) 168-24-28
E-mail: rbbs20bs@mail.ru
rbbs20bs@yandex.ru
bulletinbotanicalgarden@mail.ru

Sent to the Press 25.03.2021
Format: 60×88 1/8
Text Magazine Paper. Offset Printing
12,4 Conventional Printer's Sheets
14,5 Conventional Publisher's Signatures
The Order № 888
Circulation: 300 Copies

The Layout and the Electronic Version
of the Journal are Made by Ltd.
«Nauchtehizdat»
Printed in Ltd. «Nauchtehizdat»
107258, Moscow, Alymov pereulok, 17, bldg 2
www.tgizd.ru

Интродукция и акклиматизация

Ю.А. Пшеничкина
канд. биол. наук, ст. н. с.,
руководитель отдела
ФГБУН Центральный сибирский
ботанический сад СО РАН
г. Новосибирск, Российская Федерация

Биология *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae при интродукции

Изучены некоторые эколого-биологические особенности *Thymus proximus* Serg. (тимьяна близкого), сем. Lamiaceae при интродукции в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН г. Новосибирск. Виды рода *Thymus* L. являются лекарственными, пищевыми и декоративными растениями. Для сохранения природных запасов лекарственных растений необходимо их выращивание для нужд фармацевтической индустрии. Первым этапом такой работы является интродукция растений, которая дает возможность понять вероятность и механизмы адаптации растения к новым условиям существования, выработать начальную стратегию выращивания и ухода. Изучение сезонного ритма развития показало, что вид в условиях интродукции проходит следующие фенологические фазы: весенне-отрастание / вегетация, бутонизация, цветение, плодоношение, летне-осеннее отрастание. Нерегулярное цветение и плодоношение вполне компенсируется вегетативным размножением, как естественным, так и искусственным. Период вегетации *Th. proximus* составил 167 дней. Вид относится к весенне-летне-осеннезеленому феноритмопиту. При исследовании половой дифференциации в условиях интродукции в годы наблюдений у *Th. proximus* были зафиксированы только обеопольные цветки. Успешность интродукции оценивается нами в 85 баллов по 100 бальной шкале. *Th. proximus* перспективен для дальнейшего изучения и выращивания в условиях интродукции в лесостепной зоне Западной Сибири как лекарственное и эфиромасличное растение.

Ключевые слова: *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae, биология, сезонный ритм развития, интродукция.

Ю.А. Пшеничкина
Cand. Sci. Biol., Senior Researcher,
Head of Department
Central Siberian Botanical Garden SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

Biology of *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae at introduction

Some eco-biological peculiarities of *Thymus proximus* Serg. (Lamiaceae) were studied under conditions of introduction at the Central Siberian Botanical Garden of SB RAS in Novosibirsk, Russia. Species of the genus *Thymus* L. are medicinal, food and ornamental plants. To preserve the natural reserves of medicinal plants, their cultivation for the needs of the pharmaceutical industry is necessary. The first stage of such work is the introduction of plants, which makes it possible to understand the probability and mechanisms of plant adaptation to new conditions, as well as develop an initial strategy for plant cultivation and care. The study of the seasonal rhythm of development showed that the species undergoes the following phenological phases under conditions of introduction: spring regrowth / vegetation, budding, flowering, fruiting, summer-autumn regrowth. Irregular flowering and fruiting is fully compensated by vegetative reproduction, both natural and artificial. Vegetation period of *Th. proximus* equaled 167 days. The species belongs to the spring-summer-autumn-green phenorhythmytype. The analysis of sexual differentiation under conditions of introduction in the years of study showed that in *Th. proximus*, only bisexual flowers were recorded. The success of the introduction is estimated by us at 85 points on a 100 point scale. *Th. proximus* is promising for further study and cultivation under conditions of introduction in the forest-steppe zone of Western Siberia as a medicinal and essential oil plant.

Keywords: *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae, biology, seasonal rhythm of development, introduction.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1076

Введение

Человек издревле использовал растения при лечении и профилактике различных заболеваний. Спрос на лекарственные препараты натурального происхождения в современном мире не снижается. Природные запасы лекарственных растений не безграничны. Многие растения варварски уничтожаются и переходят в статус «редких». Поэтому, помимо охранных мероприятий, актуальным является выращивание лекарственных растений в промышленных масштабах. Первым этапом такой работы является интродукция, которая дает возможность понять вероятность и механизмы адаптации растения к новым

почвенно-климатическим условиям, выработать стратегию выращивания и ухода.

Виды полиморфного рода *Thymus* L. (тимьян) – лекарственные, пищевые, декоративные растения. Одними из основных действующих веществ тимьянков являются летучие компоненты эфирного масла, также обнаружены дубильные вещества, горечи, камедь, флавоноиды, урсоловая и олеаноловая кислоты. Компонентный состав эфирного масла тимьянков существенно различается как по количественному, так и по качественному составу [1, 2]. Виды тимьяна рекомендуются для выращивания как перспективные эфиромасличные растения [3]. Действующие вещества эфирного масла могут быть источником для

Интродукция и акклиматизация

создания лекарственных препаратов природного происхождения [4, 5]. При сборе видов рода *Thymus* для лекарственных целей систематическая принадлежность их часто не определяется заготовителями.

В медицине используются *Th. serpyllum* L. (т. ползучий) и *Th. vulgaris* L. (т. обыкновенный) при лечении легочных заболеваний, как отхаркивающее, противомикробное, анальгетическое средство. Установлено также, что и другие виды рода являются сильными антисептиками и обладают антиоксидантной [6], antimикробной [7, 8] и антибактериальной активностью [9]. Всестороннее изучение других видов рода для использования в медицинских целях будет способствовать уточнению диагностических показателей, расширению номенклатуры растительного сырья [10].

Цель исследования – изучение эколого-биологических особенностей *Thymus proximus* Serg., Lamiaceae (тимьяна близкого) при интродукции с перспективой культивирования вида в условиях лесостепной зоны Западной Сибири.

Материалы и методы

Th. proximus – полукустарничек с лежачими вегетативными побегами. Генеративные побеги красноватые, прямые или слегка изогнутые. Листья эллиптически-яйцевидной формы на черешках, по краям с длинными ресничками. Соцветия головчатые, венчик розовый. Произрастает в степном поясе в Казахстане и на территории Сибири (в Кемеровской области, Горном Алтае, Хакасии).

Растения *Th. proximus* были собраны на каменисто-щебнистом степном склоне у подножия вершины Купол трех озер Северо-Чуйского хребта, Горный Алтай. На экспериментальном участке Центрального сибирского

ботанического сада СО РАН (г. Новосибирск) вид выращивается с 2013 г. Фенологические наблюдения, описание феноритмотипа, оценку перспективности выращивания проводили по стандартным методикам [11, 12]. Половой тип цветков определяли визуально в течение всего периода цветения. Морфометрический анализ осуществляли на 50 экземплярах цветков с помощью стереомикроскопа Carl Zeiss Stereo Discovery V 12 с цветной цифровой программой AxioVision 4.8 для обработки и анализа изображений.

Метеорологические характеристики района интродукции рассматривали за периоды прохождения фенофаз вида в исследуемые годы [13].

Результаты

Район интродукции находится в зоне сурового, холодного, резко континентального климатического пояса. По режиму температуры и влагообеспеченности территория ЦСБС относится к умеренно-прохладному и умеренно-увлажненному агроклиматическому району. Вегетационный период со среднесуточными температурами воздуха выше 5°C в районе интродукции составляет в среднем 158 дней. Температура воздуха и сумма осадков в исследуемый период представлены на рис. 1.

Изучение сезонного ритма развития *Th. proximus* позволило установить следующие фенологические фазы: весенне отрастание / вегетация, бутонизация, цветение, плодоношение, летне-осенне отрастание. Результаты наблюдений за сезонным ритмом развития *Th. proximus* показаны в виде фенологических спектров (рис. 2).

Для идентификации вида были рассмотрены некоторые морфометрические показатели побегов *Th. proximus* (таблица).

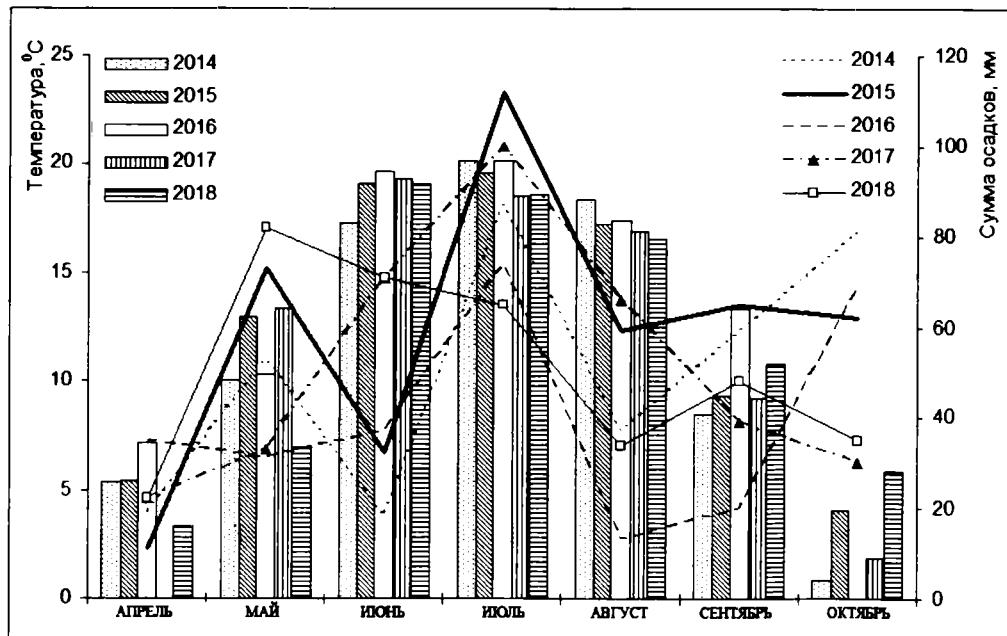


Рис. 1. Климатические характеристики района интродукции

Интродукция и акклиматизация

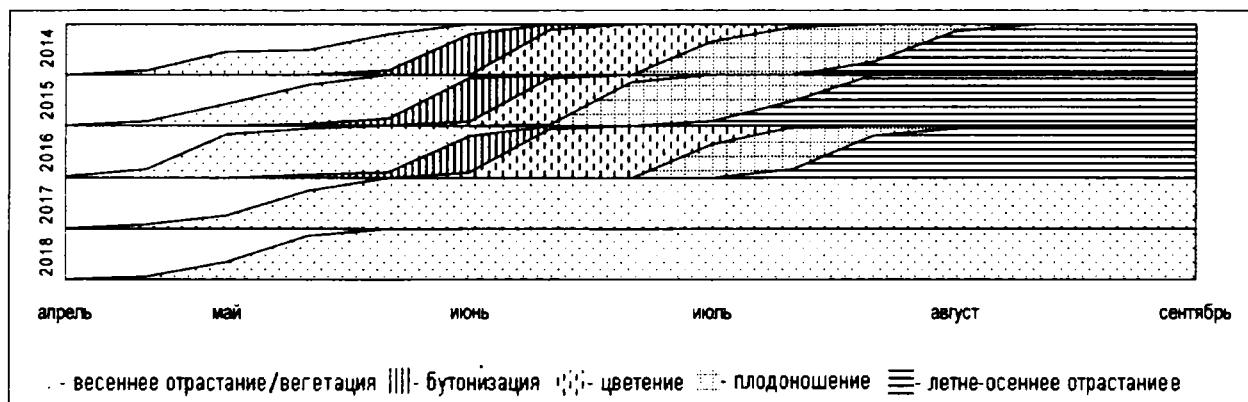


Рис. 2. Фенологические спектры *Th. proximus* при интродукции

Таблица. Некоторые морфометрические показатели *Th. proximus* при интродукции

Показатели	$\Sigma \pm m$ V%
Высота генеративного побега, см	<u>4,64 ± 0,14</u> 16,03
Диаметр генеративного побега, см	<u>0,63 ± 0,01</u> 8,38
Диаметр вегетативного побега, см	<u>0,4 ± 0,01</u> 16,03
Длина трихом генеративного побега, мм	<u>0,22 ± 0,01</u> 27,55
Длина трихом вегетативного побега, мм	<u>0,1 ± 0,01</u> 32,69
Длина листа, см	<u>7,79 ± 0,22</u> 15,22
Ширина листа, см	<u>3,35 ± 0,1</u> 17,11
Длина верхней губы чашечки, мм	<u>3,77 ± 0,00</u> 5,8
Ширина верхней губы чашечки, мм	<u>1,45 ± 0,00</u> 5,27
Длина верхней губы венчика, мм	<u>7,53 ± 0,05</u> 5,13
Ширина верхней губы венчика, мм	<u>1,85 ± 0,02</u> 6,46
Ширина средней доли нижней губы венчика, мм	<u>2,78 ± 0,02</u> 5,26
Длина пестика, мм	<u>8,79 ± 0,04</u> 9,26
Длина нижней тычинки, мм	<u>5,36 ± 0,06</u> 7,6
Длина верхней тычинки, мм	<u>4,19 ± 0,05</u> 8,14

Интродукция и акклиматизация

Обсуждение

Степень соответствия ритмов сезонного развития растения новым для него климатическим условиям может говорить об адаптации вида и возможности выращивания в районе интродукции.

Весеннее отрастание начиналось в конце второй декады апреля. В междуузлиях и на концах перезимовавших вегетативных побегов появлялись новые листья. За период исследования самые ранние сроки начала вегетации наблюдались в 2016 г. в начале второй декады апреля. Средняя температура воздуха в этот период составила 7,1 °С, что несколько выше, чем в другие исследуемые годы (Рис. 1). В конце третьей декады мая и до первой декады июня проходит фаза бутонизации, продолжительность фазы в среднем 15–20 дней. Цветение растений начинается с конца мая и продолжается до середины июля. Массовое цветение наблюдается в июле. Продолжительность цветения одного цветка составляет 3–4 дня. Продолжительность фазы составляет в среднем 38–50 дней. Фаза плодоношения наступает с середины июня и продолжается до первой декады августа. Продолжительность этого периода составляла около 45–50 дней. После периода плодоношения растения переходят в фазу летне-осеннего отрастания, в это время происходит интенсивное нарастание вегетативных побегов. Под снег растения уходят с живыми листьями бурого цвета.

Достаточно низкие температуры холодного периода и малоснежная зима 2015/2016 г. существенно не повлияли на прохождение фенофаз растений *Th. proximus*, так как последние декады весны и лето были достаточно теплыми. Сезон 2016 г. отличался хорошим весенним отрастанием особей, коротким периодом бутонизации и длительным цветением. Средняя температура воздуха в апреле 2017 г. была -4,7 °С. Это самые низкие значения температуры апреля за период 2014–2018 гг. Минимальная температура ночью опускалась до -12 °С. Апрель 2018 г. был тоже достаточно прохладным (средняя температура воздуха 3,3 °С). Май был рекордно холодным и дождливым. Летние месяцы были умеренно теплыми, наблюдались обильные дожди в июне, августе. В вегетационные сезоны 2017 и 2018 гг. бутонизация и цветения растений не наблюдалось. Предыдущими исследованиями было установлено, что генеративные почки образуются у видов рода весной [14]. Возможно, низкие температуры весенних месяцев приостановили образование генеративных почек. Растения находились в вегетативном состоянии весь сезон.

Фенологические фазы весеннее отрастание, цветение, летне-осенне отрастание растянуты во времени. Вегетационный период *Th. proximus* за время исследования составил в среднем 167 дней, что немного больше среднего значения вегетационного периода района интродукции. Но, сырьевая надземная часть растения вполне успевает сформироваться за этот период.

Предыдущими исследованиями было определено, что у видов рода при интродукции встречаются разные половые типы цветков (обоеполые, пестичные и частично

андростерильные) и три типа побегов (обоеполые, гино-моноэтические, женские) [15]. Установлено возможное влияние внешних факторов среды на формирование полового типа растений [16]. За время исследования у *Th. proximus* при интродукции были зафиксированы только обоеполые цветки. Цветки зигоморфные, открываются однократно. Продолжительность цветения одного цветка составляет 3–4 дня. Верхняя губа венчика цельная, нижняя трехлопастная. Чашечка ребристая, неопадающая после цветения. Тычинки приросшие к трубке венчика и длиннее его, двусильные (две длинные и две короткие). Пестик простой, завязь верхняя. Для видов рода характерна проторандрия, что препятствует самоопылению. Плод – четырехзрёменный ценобий.

При интродукции большинство показателей *Th. proximus* варьируют на среднем и низком уровне. Параметры, характеризующие генеративную сферу, можно использовать, как диагностические признаки. Наиболее вариабельными признаками оказались длина трихом побегов. Показатели числа и размера эфиромасличных железок сильно варьируют, что зависит, возможно, от климатических условий года исследования, а также физико-химических свойств компонентного состава эфирного масла и биологических особенностей строения растительных клеток и тканей. Число эфиромасличных железок на листе составило 8–19 шт./мм, диаметр железок 0,03–0,08 мм; на чашечке 9–25 шт./мм, диаметр 0,02–0,08 мм; на лепестках венчика 5–9 шт./мм, диаметр 0,03–0,07 мм. Пыльцевые зерна около 0,03 мм по полярной оси, одиночные, среднего размера, сплюснутосфериоидальной формы, трехклеточные с шестибороздной экзиной.

Растения *Th. proximus* можно отнести к весеннем-летне-осеннему феноритмотипу. При весеннем отрастании не наблюдалось поврежденных растений, зимостойкость оценивается нами в 20 баллов. Вид в целом устойчив к болезням и вредителям – 20 баллов. При интродукции растения сохраняют габитус естественных мест произрастания – 15 баллов. Ежегодно наблюдается вегетативное размножение – 15 баллов. За время исследования плодоношение было не ежегодное – 15 баллов. Семена опадают в непосредственной близости от материнского растения. Нужно отметить, что нерегулярное плодоношение вполне компенсируется вегетативным размножением, как естественным, так и искусственным. Успешность интродукции *Th. proximus* оценивается нами в 85 баллов по 100 бальной шкале.

Заключение

При изучении эколого-биологических особенностей *Th. proximus* было установлено, что вид в условиях интродукции проходит фенологические фазы: весеннее отрастание, вегетация, бутонизация, цветение, плодоношение, летне-осенне отрастание. Цветение и плодоношение не регулярное. Период вегетации *Th. proximus* составил 167 дней. Вид относится к весеннем-летне-осеннему феноритмотипу. При изучении половой дифференциации

Интродукция и акклиматизация

были установлены только обоеполые цветки. Успешность интродукции оценивается нами в 85 баллов. Т.о. вид перспективен для дальнейшего изучения и выращивания в условиях интродукции в лесостепной зоне Западной Сибири как лекарственное и эфиромасличное растение.

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН по проекту № АААА-А21-121011290027-6.

Благодарности

При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН, УНУ «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», USU 440534.

Список литературы

1. Банаева Ю.А., Покровский Л.М., Ткачев А.В. Исследование химического состава эфирного масла представителей рода *Thymus* L. произрастающих на Алтае // Химия растительного сырья. 1999. № 3. С. 41–48.
2. Корсакова С.П., Работягов В.Д., Федорчук М.И., Федорчук В.Г. Интродукция и селекция видов рода *Thymus* L. (биология, экология и биохимия). Херсон: Айлант, 2012. 244 с.
3. Корсакова С.П., Работягов В.Д., Каншаева У.И. Морфобиологическая характеристика и компонентный состав эфирного масла видов рода *Thymus* L. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 67. С. 107–110. DOI: 10.21515/1999-1703-67-107-110.
4. Giweli A.A., Džamić A.M., Soković M.D., Ristić M.S., Marin P.D. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Thymus algeriensis* wild-growing in Libya // Central European Journal of Biology. 2013. 8(5). Pp. 504–511. DOI: 10.2478/s11535-013-0150-0.
5. El Ouariachi E.M., Hamdani I., Bouyanzer A., Hammouti B., Majidi L., Costa J., Paolini J., Chetouani A. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of *Thymus broussonetii* Boiss. and *Thymus algeriensis* Boiss. from Morocco // Asian Pacific Journal of Tropical Disease. 2014. 4(4). Pp. 281–286. DOI: 10.1016/S2222-1808(14)60573-9.
6. Asensio-Vegas C., Khedim M.B., Rico D., Brunton N., Rai D., Hossain M., Martin-Diana A.B. *In-vitro* Approach for the Determination of Antioxidant and Anti-inflammatory Activity of Wild Marjoram (*Thymus mastichina* L.) // Journal of Food and Nutrition Research. 2018. 6(12). Pp. 731–739. DOI: 10.12691/jfnr-6-12-3.
7. Варданян Л.Р., Айрапетян С.А., Варданян Р.Л., Аветисян А.Э. Антиоксидантное действие эфирного масла тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С.143–148. DOI: 10.14258/jcprtm.1303143.
8. Jia H.L., Ji Q.L., Xing S.L., Zhang P.H., Zhu G.L., Wang X.H. Chemical Composition and Antioxidant, Antimicrobial Activities of the Essential Oils of *Thymus marschallianus* Will. and *Thymus proximus* Serg. // Journal of Food Science. 2010. 75(1). Pp. 59–65. DOI:10.1111/j.1750-3841.2009.01413.x
9. Jayari A., El Abed N., Jouini A., Mohammed Saed Abdul-Wahab O., Maaroufi A., Ben Hadj Ahmed S. Antibacterial activity of *Thymus capitatus* and *Thymus algeriensis* essential oils against four food-borne pathogens inoculated in minced beef meat // Journal of Food Safety. 2018. 38(1). DOI: 10.1111/jfs.12409.
10. Старчак Ю.А. Фармакогностическое изучение растений рода тимьян (*Thymus* L.) как перспективного источника получения фитопрепаратов. Автореф. дис...докт. фармац. наук. Самара. 2016. 47 с.
11. Байдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука, 1974. 155 с.
12. Куприянов А. Н. Теория и практика интродукции растений: учебное пособие. Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2013. 159 с.
13. Обзор состояния окружающей среды в городе Новосибирске. [Интернет ресурс] http://degkh.ru/ecology/overview_of_the_environment_in_novosibirsk/ (Дата обращения: 23.07.2020).
14. Полубоярова Т.В., Пшеничкина Ю.А. Особенности биологии *Thymus praecox* Opiz в условиях Западной Сибири // Растительный мир Азиатской России. 2018. № 4. С. 51–54. DOI: 10.21782/RMAR1995-2449-2018-4(51-54).
15. Гордеева Н.И., Пшеничкина Ю.А. Особенности половой дифференциации *Thymus marschallianus* (Lamiaceae) в условиях лесостепи Новосибирской области // Растительные ресурсы. 2013. 49(3). С. 297–303.
16. Psenichkina Yu.A. Peculiar Properties of the Seasonal Development of *Thymus extremus* Klokov (Lamiaceae) in the Course of Introduction // Contemporary Problems of Ecology. 2014. 7(5). Pp. 526–529. DOI: 10.1134/S1995425514050102.

Reference

1. Banaeva Yu.A., Pokrovskii L.M., Tkachev A.V. Issledovanie khimicheskogo sostava esfirnogo masla predstavitelei roda *Thymus* L. proizrastayushchikh na Altai [Study of chemical composition of etherial oil of plants of genus *Thymus* L., growing wild in Altai region] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw material]. 1999. N 3. Pp. 41–48.
2. Korsakova S.P., Rabotyagov V.D., Fedorchuk M.I., Fedorchuk V.G. Introduksiya i selektsiya vidov roda *Thymus* L. (biologiya, ekologiya i biokhimiya) [Introduction and selection of plants species of the genus *Thymus* L. (biology, ecology, biochemistry)]. Kherson: Ailant [Kherson: Ailant], 2012. 244 p.
3. Korsakova S.P., Rabotyagov V.D., Kantsaeva U.I. Morfobiologicheskaya kharakteristika i komponentnyi sostav esfirnogo masla vidov roda *Thymus* L. [Morphological and biological characteristics and component composition of essential oil from species of genus *Thymus* L.] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta

Интродукция и акклиматизация

[Works of the Kuban state agrarian university]. 2017. N 67. Pp. 107–110.

4. Giweli A.A., Džamić A.M., Soković M.D., Ristić M.S., Marin P.D. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of *Thymus algeriensis* wild-growing in Libya // Central European Journal of Biology. 2013. 8(5): Pp. 504–511.

5. El Ouariachi E.M., Hamdani I., Bouyanzer A., Hammouti B., Majidi L., Costa J., Paolini J., Chetouani A. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils of *Thymus broussonetii* Boiss. and *Thymus algeriensis* Boiss. from Morocco // Asian Pacific Journal of Tropical Disease. 2014. 4(4): Pp. 281–286.

6. Asensio-Vegas C., Khedim M.B., Rico D., Brunton N., Rai D., Hossain M., Martin-Diana A.B. *In-vitro* Approach for the Determination of Antioxidant and Anti-inflammatory Activity of Wild Marjoram (*Thymus mastichina* L.) // Journal of Food and Nutrition Research. 2018. 6(12): Pp. 731–739.

7. Vardanyan L.R., Airapetyan S.A., Vardanyan L.R., Avetisyan A.Eh. Antioksidantnoe deistvie ehfirnogo masla tim'yanu polzuchego (*Thymus serpyllum* L.) [The antioxidant actions of ethereous oil of the *Thymus serpyllum* L.] // Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of plant raw material]. 2013. N 3. Pp. 143–148.

8. Jia H.L., Ji Q.L., Xing S.L., Zhang P.H., Zhu G.L., Wang X.H. Chemical Composition and Antioxidant, Antimicrobial Activities of the Essential Oils of *Thymus marschallianus* Will. and *Thymus proximus* Serg. // Journal of Food Science. 2010. 75(1): Pp. 59–65.

9. Jayari A., El Abed N., Jouini A., Mohammed Saed Abdul-Wahab O., Maaroufi A., Ben Hadj Ahmed S. Antibacterial activity of *Thymus capitatus* and *Thymus algeriensis* essential oils against four food-borne pathogens inoculated in minced beef meat // Journal of Food Safety. 2018. 38(1).

10. Starchak Yu.A. Farmakognosticheskoe izuchenie raschenii roda tim'yan (*Thymus* L.) kak perspektivnogo istochnika polucheniya fitopreparatov. [Pharmacognostic study of plants of the genus *Thymus* L. as a promising source of phytopreparations] Abstr...Diss. Dokt. Pharmac. Sci]. Samara. 2016. 47 p.

11. Beideman I.N. Metodika izucheniya fenologii rastenii i rastitel'nykh soobshchestv [Methods of studying the phenology of plants and plant communities]. Novosibirsk: Nauka [Novosibirsk: Publishing house «Science»], 1974. 155 p.

12. Kupriyanov A.N. Teoriya i praktika introduktii rastenii: uchebnoe posobie [Theory and practice of plant introduction: a textbook]. Kemerovo: KREHOO «IrbiS» [Kemerovo: KREHOO «IrbiS»], 2013. 159 p.

13. Obzor sostoyaniya okruzhayushchey sredy v gorode Novosibirске [Overview of the state of the environment in the city of Novosibirsk]. Internet-resource: http://degkh.ru/ecology/overview_of_the_environment_in_novosibirsk/ (Accessed: 23.07.2020).

14. Poluboyarova T.V., Pshenichkina YU.A. Osobennosti biologii *Thymus praecox* Opiz (*Lamiaceae*) v usloviyah Zapadnoi Sibiri [Peculiarities of generative sphere of *Thymus praecox* Opiz (*Lamiaceae*) in conditions of West Siberia] // Rastitel'nyi mir Aziatskoi Rossii [Rastitel'nyj mir Aziatskoj Rossii]. 2018. N 4. Pp. 51–54.

15. Gordeeva N.I., Pshenichkina Yu.A. Osobennosti polovoi differentsiatii *Thymus marschallianus* (*Lamiaceae*) v usloviyah lesostepi Novosibirskoi oblasti [Sex differentiation of *Thymus marschallianus* (*Lamiaceae*) in the forest-steppe zone of Novosibirsk region] // Rastitelnye resursy [Rastitelnye resursy]. 2013. N 49(3). Pp. 297–303.

16. Pshenichkina Yu.A. Peculiar Properties of the Seasonal Development of *Thymus extremus* Klokov (*Lamiaceae*) in the Course of Introduction // Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7. № 5. Pp. 526–529.

Информация об авторе

Пшеничкина Юлия Анатольевна, канд. биол. наук, ст. н. с., руководитель отдела

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090 Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101.

E-mail: scutel@yandex.ru

Information about the author

Pshenichkina Yuliya Anatol'evna, Cand. Sci. Biol., Senior Researcher, Head of Department

Federal State Budgetary Institution of Science Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

630090 Russian Federation, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101

E-mail: scutel@yandex.ru

Интродукция и акклиматизация

И.О. Яценко
канд. биол. наук, н. с.
О.В. Яценко
мл. н. с.
С.В. Михеева
агроном
ФГБУН Главный ботанический сад
им. Н.В. Цицина РАН
Москва, Российская Федерация

Пополнение ассортимента коллекции дендрария Главного ботанического сада РАН

Коллекция древесных растений дендрария ГБС РАН развивалась по первоначальному плану в период с 1950 г. по 1990-е гг. С 1990-х годов по разным причинам введение новых растений в коллекцию и проведение интродукционных испытаний было прервано. Не все растения из первоначально запланированных были испытаны до 1990-х годов. При восстановлении интродукционной деятельности дендрария в 2015 г. приоритетной целью стало качественное пополнение таксономического состава коллекции, а именно, включение в ее состав новых родов растений. Мы провели отбор таксонов, основываясь на данных о зимостойкости растений как в природе, так и в культуре, и анализе списков растений, выращиваемых в ботанических садах в настящее время и в прошлом. В этой статье приведены данные о первичных испытаниях 101 нового для коллекции дендрария рода древесных растений. Большая часть таксонов, запланированных в первоначальном проектном списке, на наш взгляд, также по-прежнему перспективна для привлечения к ротации таксонов коллекции дендрария ГБС.

Ключевые слова: интродукция, древесные растения, зимостойкость, ботанические сады, редкие растения.

I.O. Yatsenko
Cand. Sci. Biol., Researcher
O.V. Yatsenko
Junior researcher
S.V. Mikheeva
Agronomist
Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy
of Sciences
Moscow, Russian Federation

Replenishment of the assortment of the arboretum collection of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences

The woody plant collection of the Arboretum of MBG RAS was developed in compliance with an original project designed in 1950, up until the 1990s. Later, during the 1990s, the trials and introduction of new plants into the collection were disrupted due to various reasons. Some of the plants listed for trials hadn't been tested at all. While resuming introduction activities, the qualitative taxonomic supplementation of the collection, by new genera in particular, has become a priority. We have selected taxa in accordance with data on plant hardiness in the wild and in cultivation, as well as investigating the lists of plants cultivated in other botanical gardens in the past and in the present. In this article the preliminary results of introduction of 101 new genera of woody plants into the Arboretum are reported. A considerable part of the draft list of taxa planned for trial in the project is still suitable for taxa rotation in the Arboretum collection as well.

Keywords: introduction, woody plants, arboretum, hardy plants, botanical gardens, rare plants.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1077

Введение

Дендрологическая коллекция Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС) всегда развивалась согласно определенному плану [1–4]. В 1950 году был составлен проектный список растений, перспективных для интродукции в условиях дендрария ГБС. В то время он насчитывал 2676 таксонов, относящихся к 260 родам 74 семейств [5]. Согласно именно этому списку велась интродукционная работа в дендрарии большую часть времени

существования сада [6, 7]. В 1990-х гг. интродукционная работа в дендрарии ГБС была практически заморожена. Отсутствие достаточного финансирования для проведения необходимых для неё работ, например, экспедиций и заграничных командировок — частичное объяснение этому. Более того, высказывалось мнение, что абсолютное большинство растений, которые способны расти в условиях дендрария ГБС, уже испытаны, поэтому продолжать интродукционную работу не имеет смысла. В то время считалось, что целесообразно заниматься выращиванием

Интродукция и акклиматизация

растений лишь для ротации таксонов в коллекции, то есть для замены экземпляров, выпадающих по причине старости, от болезней или из-за случайных причин [2].

В 2015 году нами была восстановлена планомерная интродукционная работа в дендрарии ГБС с целью пополнения коллекции новыми таксонами [5]. Причинами, подтолкнувшими нас к этому решению, послужили следующие факторы. С 1990-х годов были:

- описаны или введены в культуру новые виды растений;
- получены новые данные о зимостойкости растений как из ботанических садов Западной Европы, ближнего зарубежья и европейской части России, так и от частных коллекционеров растений, часто реализующих более смелые интродукционные проекты, чем работающие по классическим методикам ботанические сады;
- открылись границы, и садовые центры пополнились новым для России ассортиментом растений. Некоторые растения, которые ранее считались коллекционной редкостью, теперь свободно продаются в качестве декоративных культур и доступны всем желающим;
- расширены программы по природоохранным инициативам (преимущественно в Европе и США), в результате чего сместился спектр культивируемых растений в ботанических садах; многие редкие или исчезающие в природе растения стали обычными в ботанических садах западных стран, и благодаря этому изменился ассортимент растений, доступных, например, в списках семенного обмена между ботаническими садами [8].

На основании вышеуказанных причин нами было принято решение, что список растений, перспективных для интродукции в дендрарий ГБС РАН, следует расширять. Мы считаем, что при интродукции в приоритете должно стоять качественное улучшение коллекции, то есть расширение ее таксономического состава за счет включения родов, относящихся к олиготипным семействам, олиготипных родов, менее распространенных в культуре видов уже имеющихся в коллекции родов. Также необходимо дополнять коллекцию более редкими родами семейств, уже представленных в дендрарии. Кроме того, важно расширять географию образцов таксонов, в том числе привлекать для интродукционных испытаний представителей родов, проходящих из южного полушария. Предварительные результаты проведенной нами интродукционной работы по улучшению качественного состава коллекции древесных растений дендрария ГБС РАН представлены в данной статье.

Материалы и методы

Основным направлением поиска древесных растений, перспективных для интродукции, был подбор новых для коллекции дендрария ГБС родов. На первом этапе был составлен список на основе наблюдений за растениями ботанических садов Европейской России и Восточной Европы, а также исходя из анализа списков растений,

произрастающих в них в прошлом [9, 10]. При этом учитывали информацию о зимостойкости растений в том или ином регионе, их природном происхождении, условиях произрастания и жизненных формах [11–14]. Также были изучены литературные данные о приуроченности растений к определенным климатическим зонам и материалы о видах, произрастающих в тех же условиях, что и растения, уже хорошо зарекомендовавшие себя в дендрарии ГБС [15–19]. Затем были проанализированы список растений из первоначального проекта дендрария ГБС 1950 г. и итоги масштабной инвентаризации, проведенной в начале 2000-х гг., по результатам которой опубликована монография «Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН: 60 лет интродукции» [2]. Мы изучили списки растений в последнем источнике и выбрали те таксоны, которые выпали из коллекции дендрария ГБС к началу 2000-х годов. В дальнейшем отбор растений, перспективных для интродукции в дендрарии ГБС, также проводили с учетом возможности получения материала для выращивания, то есть на основании обменных списков ботанических садов, каталогов фирм, занимающихся продажей редких древесных растений, списков таксонов, предлагаемых частными коллекционерами для обмена или продажи. Учет поступившего материала и его инвентаризация проводились согласно основным принципам, изложенным П.И. Лапиным [20].

Результаты

В результате проведенного интродукционного поиска древесных растений согласно описанной оригинальной методологии, был составлен список растений, перспективных для интродукции в дендрарий ГБС (табл.).

Обсуждение

На данный момент в питомнике дендрария ГБС в целях пополнения коллекции новыми родами интродукционные испытания проходят 172 таксона из 101 рода и 59 семейств. Анализ материалов таблицы показывает, что представители значительного числа родов растений, которые не были указаны в проектном списке 1950 года и не были испытаны в дендрарии ГБС, обладают высоким интродукционным потенциалом. Для первичных интродукционных испытаний были первоначально отобраны всего 64 рода (91 вид/подвид) из 48 семейств. Среди них 76% таксонов можно отнести к перспективным для дальнейших испытаний. Это следующие роды: *Abeliophyllum*, *Asimina*, *Berchemia*, *Callicarpa*, *Calocedrus*, *Castanea*, *Cephalotaxus*, *Clerodendrum*, *Clethra*, *Coccus*, *Coriaria*, *Corylopsis*, *Cryptomeria*, *Cyclocarya*, *Daphne*, *Davidia*, *Decaisnea*, *Decumaria*, *Desmodium*, *Desmodium*, *Dipteronia*, *Euptelea*, *Fothergilla*, *Helwingia*, *Heptacodium*, *Lespedeza*, *Lindera*, *Liquidambar*, *Lycium*, *Myrica*, *Neoshirakia*, *Neviusia*, *Nothofagus*, *Nyssa*, *Oplopanax*, *Ostryopsis*, *Parrotiopsis*, *Pistacia*, *Platycarya*, *Poliothyrsis*, *Pseudocydonia*, *Sassafras*,

Интродукция и акклиматизация

Таблица. Таксоны новых для коллекции родов, привлеченных к интродукционным испытаниям в 2015-2020 гг.

Семейство	Таксон	Наличие в проектном списке дендрария 1950 г.	Таксон ранее испытан в дендрарии ГБС	Число экземпляров на 2020 г.	Число образцов: поступивших с 2015 по 2020 гг. / культивируемых на 2020 г.	Тип поступившего материала – семена/черенки/растение (число образцов данного типа)
Altingiaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	-	-	5	2/2	0/0/2
Anacardia-ceae	<i>Pistacia chinensis</i> Bunge	-	-	1	1/1	0/0/1
	<i>Pistacia vera</i> L.	-	-	0	1/0	1/0/0
Annonaceae	<i>Asimina triloba</i> (L.) Dunal	-	-	25+	5/4	4/0/1
Aquifoliaceae	<i>Nemopanthus mucronatus</i> (L.) Trel.	-	-	1	1/1	1/0/0
Araliaceae	<i>Hedera colchica</i> (K.Koch) K.Koch	-	+	8	1/1	0/0/1
	<i>Hedera helix</i> L.	-	+	25	1/1	0/1/0
	<i>Hedera pastuchovii</i> Woronow	-	+	20	1/1	0/0/1
	<i>Oplopanax elatus</i> (Nakai) Nakai	+	+	14	4/4	2/0/2
	<i>Oplopanax horridus</i> (Sm.) Miq.	-	-	1	2/1	1/0/1
Asclepiada-ceae	<i>Periploca graeca</i> L.	+	+	3	1/1	0/0/1
	<i>Periploca sepium</i> Bunge	+	+	5	1/1	1/0/0
Asteraceae	<i>Artemisia abrotanum</i> L.	-	-	1	1/1	0/1/0
Betulaceae	<i>Ostryopsis davidiana</i> Decne.	-	-	1	1/1	0/0/1
Calycantha-ceae	<i>Calycanthus fertilis</i> Walt.	-	+	50+	5/5	4/0/1
	<i>Calycanthus floridus</i> L.	+	+	39	11/8	8/0/3
	<i>Calycanthus occidentalis</i> Hook et Arn.	-	+	30+	8/7	7/0/1
	<i>Sinocalycanthus sinensis</i> (W. C. Cheng & S. Y. Chang) P. T. Li	-	-	18	7/7	5/0/2
Caprifoliaceae	<i>Heptacodium miconioides</i> Rehder	-	-	2	2/2	0/0/2
Celastraceae	<i>Maytenus disticha</i> (Hook.f.) Urban	-	-	2	1/1	1/0/0
	<i>Paxistima canbyi</i> A. Gray	+	-	8	2/2	0/1/1
Cephalotaxa-ceae	<i>Cephalotaxus</i> sp.	-	-	6	2/2	2/0/0
Clethraceae	<i>Clethra acuminata</i> Michx.	-	-	2	1/1	0/0/1
	<i>Clethra alnifolia</i> L.	+	+	4	3/3	0/0/3
	<i>Clethra barbinervis</i> Siebold & Zucc.	-	-	19	2/2	2/0/0
	<i>Clethra fargesii</i> Franch.	-	-	13	1/1	1/0/0
Coriariaceae	<i>Coriaria japonica</i> A.Gray	-	-	40+	2/2	2/0/0
	<i>Coriaria nepalensis</i> Wallich	-	-	10+	2/2	2/0/0
Cornaceae	<i>Alangium chinense</i> (Lour.) Harms	-	-	2	1/1	1/0/0
	<i>Helwingia japonica</i> Dietr.	-	-	1	1/1	0/0/1

Интродукция и акклиматизация

Cupressaceae	<i>Calocedrus decurrens</i> (Torr.) Florin	-	-	8	3/3	2/1/0
	<i>Cryptomeria japonica</i> (Thunb. ex L.f.) D.Don	-	-	30+	1/1	1/0/0
	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	+	+	40+	4/3	2/0/2
Ebenaceae	<i>Diospyros lotus</i> L.	-	+	2	2/1	0/0/2
	<i>Diospyros virginiana</i> L.	-	+	7	5/4	1/0/4
Elaeagnaceae	<i>Sherpherdia argentea</i> (Pursh) Nutt.	+	+	15	3/3	1/0/2
Eucommiaceae	<i>Eucommia ulmoides</i> Oliv.	+	+	29	7/7	5/1/1
Euphorbiaceae	<i>Leptopus colchicus</i> (Fisch. & C.A.Mey. ex Boiss.) Pojark.	-	+	2	1/1	0/0/1
	<i>Neoshirakia japonica</i> (Siebold & Zucc.) Esser (syn. <i>Sapium japonicum</i> (Siebold & Zucc.) Pax & K.Hoffm.)	-	-	1	3/1	1/0/2
Eupteleaceae	<i>Euptelea pleiosperma</i> Hook.f. & Thomson	-	-	60+	2/2	2/0/0
	<i>Euptelea polyandra</i> Siebold & Zucc.	-	-	3	2/1	2/0/0
Fabaceae	<i>Cercis canadensis</i> L.	+	+	2	2/1	0/0/2
	<i>Cercis chinensis</i> Bunge	-	+	22	2/1	1/0/1
	<i>Cercis griffithii</i> Boiss.	+	+	1	1/1	1/0/0
	<i>Desmodium canadense</i> (L.) D.C.	-	-	60+	4/4	4/0/0
	<i>Desmodium cuspidatum</i> (Muhl.) Laudon	-	-	20+	1/1	1/0/0
	<i>Halimodendron halodendron</i> (Pall.) Voss	+	+	9	2/2	1/0/1
	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	+	+	30+	6/5	3/0/3
	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq	+	+	1	1/1	0/0/1
	<i>Lespedeza juncea</i> (L.f.) Pers.	-	-	30+	1/1	1/0/0
	<i>Lespedeza sp.</i>	-	-	2	1/1	1/0/0
Fagaceae	<i>Sophora japonica</i> L.	+	+	35	1/1	1/0/0
	<i>Castanea crenata</i> Siebold & Zucc.	-	-	3	1/1	1/0/0
	<i>Castanea dentata</i> (Marshall) Borkh.	+	+	15+	3/3	2/0/1
	<i>Castanea dentata</i> (Marshall) Borkh x <i>C. mollissima</i> Blume	-	-	2	1/1	0/0/1
	<i>Castanea mollissima</i> Blume	+	-	2	1/1	0/0/1
Flacourtiaceae	<i>Poliothyrsis sinensis</i> Oliv.	-	-	25	3/3	1/0/2

Интродукция и акклиматизация

Hamamelidaeae	<i>Corylopsis glabrescens</i> Franch. & Sav.	-	-	20	1/1	1/0/0
	<i>Corylopsis pauciflora</i> Siebold & Zucc.	-	-	8	2/2	1/0/1
	<i>Corylopsis platypetala</i> Rehder & E.H.Wilson	-	-	30+	1/1	1/0/0
	<i>Corylopsis sinensis</i> Hemsl.	-	-	80+	6/6	4/0/2
	<i>Corylopsis spicata</i> Siebold et Zucc.	-	+	13	4/4	2/0/2
	<i>Corylopsis willmottiae</i> Rehder & E.H.Wilson	-	-	1	1/1	1/0/0
	<i>Fortunearia sinensis</i> Rehder & E.H.Wilson	-	-	2	1/1	1/0/0
	<i>Fothergilla major</i> Lodd.	-	-	30+	6/6	3/0/3
	<i>Parrotia persica</i> C.A.Mey.	+	+	60+	3/3	1/0/2
	<i>Parrotiopsis jacquemontiana</i> (Decne.) Rehder	-	-	1	1/1	0/0/1
Hydrangeaceae	<i>Decumaria barbara</i> L.	-	-	6	1/1	1/0/0
	<i>Schizophragma corylifolium</i> Chun	-	-	1	1/1	0/0/1
Iteaceae	<i>Itea virginica</i> L.	-	+	20+	3/3	1/0/2
Juglandaceae	<i>Carya aquatica</i> (F.Michx.) Nutt. ex Elliott	-	-	0	1/0	0/0/1
	<i>Carya cordiformis</i> (Wangenh.) K.Koch	+	+	40+	6/6	5/0/1
	<i>Carya glabra</i> (Mill.) Sweet	+	-	6	2/2	2/0/0
	<i>Carya illinoiensis</i> (Wangenh.) K.Koch	-	+	10	5/5	2/0/3
	<i>Carya laciniosa</i> (F.Michx.) G.Don	+	+	17	4/4	3/0/1
	<i>Carya ovata</i> (Mill.) K.Koch	+	+	3	2/2	0/0/2
	<i>Cyclocarya paliurus</i> (Batal.) Iljinsk.	-	-	10	2/2	2/0/0
	<i>Platycarya strobilacea</i> Siebold & Zucc.	-	-	18	5/1	5/0/0
Lamiaceae	<i>Callicarpa americana</i> L.	-	-	40+	2/2	2/0/0
	<i>Callicarpa bodinieri</i> H.Lév.	-	+	50+	2/2	2/0/0
	<i>Callicarpa dichotoma</i> (Lour.) K. Koch.	-	-	0	1/0	1/0/0
	<i>Callicarpa japonica</i> Thumb.	-	+	60+	5/5	5/0/0
	<i>Callicarpa japonica</i> Thunb. var. <i>luxurians</i> Rehd.	-	-	5	1/1	1/0/0
	<i>Clerodendrum fargesii</i> Dode	-	-	8	1/1	1/0/0
Lardizabalaceae	<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.	-	+	6	2/2	0/0/2
	<i>Decaisnea fargesii</i> Franch.	-	-	50+	6/6	5/0/1
	<i>Sinofranchetia chinensis</i> (Franch.) Hemsl.	-	-	40+	2/1	2/0/0

Интродукция и акклиматизация

	<i>Lindera angustifolia</i> Cheng	-	-	1	1/1	1/0/0
Lauraceae	<i>Lindera benzoin</i> (L.) Blume	-	-	60+	4/4	2/0/2
	<i>Sassafras albidum</i> (Nutt.) Nees	-	-	2	3/2	0/0/3
Meliaceae	<i>Toona sinensis</i> (Juss.) M.Roem.	-	-	1	1/1	0/0/1
Menispermacceae	<i>Cocculus orbiculatus</i> (L.) DC.	-	-	40+	3/3	3/0/0
Moraceae	<i>Cudrania tricuspidata</i> (Carrière) Bureau ex Lavallée	-	-	0	1/0	1/0/0
	<i>Macfura pomifera</i> (Rafin.) C. K. Schn.	-	+	60+	2/1	2/0/0
Myricaceae	<i>Comptonia peregrina</i> (L.) Coul.	+	-	0	2/0	1/0/1
	<i>Myrica cerifera</i> L.	-	-	20+	2/2	2/0/0
	<i>Myrica gale</i> L.	+	+	40+	3/3	2/0/1
	<i>Myrica heterophylla</i> Raf.	-	-	5	1/1	0/0/1
	<i>Myrica pensylvanica</i> Mirb.	+	+	4	5/2	3/0/2
	<i>Myrica tomentosa</i> Asch. & Graebn.	+	+	6	2/2	0/0/2
Nothofagaceae	<i>Nothofagus antarctica</i> (G.Forst.) Oerst.	-	-	10	2/2	0/1/1
Nyssaceae	<i>Davida involucrata</i> Baill.	-	-	24	2/2	1/0/1
	<i>Nyssa aquatica</i> L.	-	-	0	1/0	0/0/1
	<i>Nyssa sylvatica</i> Marsh.	+	-	5	3/3	1/0/2
	<i>Nyssa sylvatica</i> var. <i>biflora</i> (Walker) Sarg.	-	-	1	1/1	0/0/1
Oleaceae	<i>Abeliophyllum distichum</i> Nakai	-	-	2	2/2	0/0/2
	<i>Jamesia americana</i> Torr. & A. Gray	+	+	35+	4/4	4/0/0
Pinaceae	<i>Pseudolarix amabilis</i> (J.Nelson) Rehder	-	-	1	1/1	1/0/0
Polygonaceae	<i>Atraphaxis frutescens</i> (L.) C.Koch	+	+	0	1/0	1/0/0
	<i>Fallopia aubertii</i> (L.Henry) Holub	+	+	9	1/1	1/0/0
Ranunculaceae	<i>Xanthorhiza simplicissima</i> Marshall	+	-	21	3/3	2/0/1
Rhamnaceae	<i>Berchemia scandens</i> (Hill) K.Koch	-	-	10+	2/2	0/0/2
	<i>Ceanothus americanus</i> L.	+	+	2	1/1	0/0/1
	<i>Rhamnella franguloides</i> (Maxim.) Weberb.	-	-	2	2/2	1/0/1

Интродукция и акклиматизация

	<i>Cercocarpus betuloides</i> Nutt. ex Torr. & A.Gray	-	+	16	1/1	1/0/0
	<i>Neviusia alabamensis</i> A.Gray	-	-	1	1/1	0/0/1
	<i>Pseudocydonia sinensis</i> (Thouin) C.K.Schneid	-	-	16	2/2	2/0/0
	<i>Purshia tridentata</i> (Pursh) DC.	-	+	10	1/1	1/0/0
Rosaceae	<i>Rhodotypos scandens</i> (Thunb.) Makino	+	+	28	5/5	3/0/2
	<i>Sibiraea laevigata</i> (Linnaeus) Maxim (syn. <i>S. altaiensis</i> (Laxm.) Schneid.)	+	+	20	2/1	1/0/1
	<i>Sibiraea tianschanica</i> (Krasn.) Pojark.	+	-	0	1/0	1/0/0
	<i>Skimmia repens</i> Nakai	+	+	1	1/1	0/0/1
	<i>Tetradium daniellii</i> (Benn.) T.G.Hartley	-	-	40+	9/9	8/0/1
	<i>Tetradium glabrifolium</i> (Champ. ex Benth.) T.G. Hartley	-	-	11	1/1	1/0/0
Sapindaceae	<i>Dipteronia sinensis</i> Oliv.	-	-	7	2/1	2/0/0
	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxm.	+	+	25+	4/4	4/0/0
	<i>Xanthoceras sorbifolia</i> Bunge	+	+	0	1/0	0/0/1
Sciadopityaceae	<i>Sciadopitys verticillata</i> (Thunb.) Siebold & Zucc.	-	-	3	1/1	0/0/1
Scrophulariaceae	<i>Paulownia tomentosa</i> Steud.	+	+	1	2/1	1/0/1
Simaroubaceae	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	+	+	1	2/1	1/0/1
Smilacaceae	<i>Smilax rotundifolia</i> L.	-	-	8	1/1	1/0/0
	<i>Smilax sieboldii</i> Miq.	-	-	11	2/2	2/0/0
	<i>Smilax tamnoides</i> L.	-	-	50+	5/5	5/0/0
Solanaceae	<i>Lycium barbarum</i> L.	-	-	1	1/1	0/0/1
Stachyuraceae	<i>Stachyurus praecox</i> Siebold & Zucc.	-	-	20+	1/1	1/0/0
Styracaceae	<i>Pterostyrax corymbosus</i> Siebold & Zucc.	-	-	0	1/0	1/0/0
	<i>Pterostyrax hispidus</i> Siebold et Zucc.	-	+	100+	8/7	7/0/1
	<i>Styrax japonicus</i> Siebold & Zucc.	-	-	30+	3/3	3/0/0
	<i>Styrax obassis</i> Siebold & Zucc.	-	-	5	3/3	0/0/3
Symplocaceae	<i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	-	-	10+	3/2	2/0/1
Tamaricaceae	<i>Myricaria alopecuroides</i> Schrenk	+	+	3	1/1	0/0/1
	<i>Tamarix meyeri</i> Boiss.	-	+	2	1/1	0/0/1
	<i>Tamarix ramosissima</i> Ledeb.	+	+	2	1/1	0/0/1
	<i>Tamarix tetrandra</i> Pall. ex M.Bieb.	+	+	5	2/2	0/0/2

Интродукция и акклиматизация

Taxodiaceae	<i>Metasequoia glyptostroboides</i> Hu et W.C.Cheng	-	+	30+	7/7	6/0/1
	<i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.	-	-	9	2/2	2/0/0
Theaceae	<i>Stewartia pseudocamellia</i> Maxim.	-	+	30+	3/3	2/0/1
	<i>Stewartia pseudocamellia</i> var. <i>koreana</i> Maxim.	-	-	1	1/1	1/0/0
	<i>Stewartia serrata</i> Maxim.	-	-	27	3/3	3/0/0
Thymelaeaceae	<i>Daphne alpina</i> L.	+	+	9	5/5	2/0/3
	<i>Daphne glomerata</i> Lam.	+	+	2	1/1	0/0/1
	<i>Daphne kosaninii</i> (Stoj.) Stoj.	-	-	19	2/2	1/0/1
	<i>Daphne kurdica</i> (Bornm.) Bornm.	-	-	19	1/1	1/0/0
	<i>Daphne laureola</i> L.	+	-	4	1/1	1/0/0
	<i>Daphne mezereum</i> var. <i>album</i> Aiton	+	-	30+	2/2	1/0/1
	<i>Daphne oleoides</i> Schreb.	-	+	8	1/1	1/0/0
	<i>Daphne pontica</i> L.	-	-	9	3/3	1/0/2
	<i>Daphne retusa</i> Hemsl.	-	+	0	1/0	1/0/0
	<i>Daphne tangutica</i> Pritz.	-	-	1	1/1	0/0/1
	<i>Daphne woronowii</i> Kolakovsky	-	-	1	1/1	0/0/1
	<i>Hemiptelea davidii</i> (Hance) Planch.	+	+	2	1/1	1/0/0
Ulmaceae	<i>Pteroceltis tatarinowii</i> Maxim.	+	-	2	1/1	1/0/0
	<i>Zelkova carpinifolia</i> (Pall.) K. Koch	-	+	10+	2/2	1/0/1
	<i>Zelkova serrata</i> (Thunb.) Makino	-	-	23	5/5	3/0/2
	<i>Ampelopsis aconitifolia</i> Bunge	-	+	15+	4/4	4/0/0
Vitaceae	<i>Ampelopsis bodinieri</i> (H.Lév. & Vaniot) Rehder	+	+	20	2/2	2/0/0
	<i>Ampelopsis delavayana</i> Planch.	+	-	2	1/1	1/0/0
	<i>Ampelopsis glandulosa</i> (Wall.) Momiy.	+	+	2	2/2	0/0/2
	<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>brevipedunculata</i> (Maxim.) Momiy.	+	+	6	2/2	1/0/1
	<i>Ampelopsis megalophylla</i> (Veitch) Diels et Gilg	-	-	2	2/2	2/0/0
	<i>Ampelopsis vitifolia</i> (Boiss.) Planch.	+	-	0	1/0	0/0/1

Schizophragma, *Sciadopitys*, *Sinocalycanthus*, *Sinofranchetia*, *Smilax*, *Stachyurus*, *Stewartia*, *Styrax*, *Symplocos*, *Taxodium*, *Tetradium*, *Zelkova*. В ходе наших интродукционных испытаний было отбраковано только 7% отобранных видов:

1) *Callicarpa dichotoma* (Lour.) K. Koch. (Lamiaceae) – этот вид не очень устойчив, как и другие виды этого рода. Те виды, которые зимуют у нас, каждый год обмерзают до земли;

2) *Carya aquatica* (F.Michx.) Nutt. ex Elliott (Juglandaceae) – скорее всего, этот вид надо считать перспективным, но стоит привлекать материал из северной части ареала, так как остальные виды рода *Carya* зимуют в целом хорошо. Кроме того, у нас в испытании участвовал всего один образец этого вида;

3) *Cudrania tricuspidata* (Carrière) Bureau ex Lavallée (Moraceae) – это представитель монотипного рода.

Интродукция и акклиматизация

Несмотря на литературные данные о перспективности этого вида, у нас он не перезимовал;

4) *Nyssa aquatica* L. (Nyssaceae) – этот вид оказался неперспективным, в отличие от другого испытанного нами представителя данного рода;

5) *Pistacia vera* L. (Anacardiaceae) – пока что к нам поступил всего один образец, мы планируем продолжить испытания этого вида;

6) *Pterostyrax corymbosus* Siebold & Zucc. (Styracaceae) – один из двух видов олиготипного рода, судя по всему, является неперспективным видом, так как вымерзает и в других ботанических садах Москвы;

Среди родов растений, которые отсутствовали в проектном списке дендрария 1950 г. и не были испытаны ранее в дендрарии ГБС, довольно много монотипных родов: *Abeliophyllum*, *Asimina*, *Calocedrus*, *Cryptomeria*, *Cyclocarya*, *Davidia*, *Decaisnea*, *Fortunearia*, *Heptacodium*, *Neoshirakia*, *Neviusia*, *Parrotiopsis*, *Platycarya*, *Poliothyrsis*, *Pseudolarix*, *Sassafras*, *Sciadopitys*, *Sinofranchetia*. Так же есть монотипные роды, которые только недавно были выделены как самостоятельные: *Nemoranthus*, *Pseudocydonia*, *Sinocalycanthus*. Кроме того, есть олиготипные роды древесных растений: *Decumaria*, *Dipteronia*, *Euptelea*, *Fothergilla*, *Ostryopsis*, *Pterostyrax* и *Taxodium*. По нашему мнению, введение в коллекцию дендрария ГБС перечисленных родов положительно скажется на качественном таксономическом разнообразии коллекции.

Из испытанных нами в рамках данной работы таксонов 54 ранее уже были включены в проектный список дендрария, из них 42 таксона испытывались, но выпали к началу 2000-х годов. На момент инвентаризации 2020 г. 5 таксонов из этого числа посажены нами повторно в период с 2015 по 2019 гг., но выпали снова, к ним относятся:

1) *Ampelopsis vitifolia* (Boiss.) Planch. (Vitaceae) – сложности с его выращиванием, скорее всего, связаны с центральноазиатским происхождением самого вида, так как дальневосточные и восточноазиатские виды хорошо показали себя в наших испытаниях;

2) *Atraphaxis frutescens* (L.) C.Koch (Polygonaceae) – представитель рода, для которого характерны пустынные местообитания, что и осложняет его выращивание в дендрарии, хотя ранее эти растения присутствовали в коллекции;

3) *Comptonia peregrina* (L.) Coul. (Myricaceae) – поступала к нам несколько раз, как семенами, так и живыми растениями. Скорее всего, этот вид не получилось интродуцировать из-за сложностей с его размножением, а не из-за отсутствия у него зимостойкости;

4) *Sibiraea tianschanica* (Krasn.) Pojark. (Rosaceae) – планируем пробовать дальше этот вид и другие виды рода *Sibiraea*;

5) *Xanthoceras sorbifolia* Bunge (Sapindaceae) – сложности с выращиванием могут быть связаны с тем, что вид происходит из сухих местообитаний в Китае, и, возможно, причиной его гибели является выпревание.

Подавляющее большинство растений, привлеченных к интродукционному испытанию в 2015-2020 гг., хорошо

зарекомендовали себя. Мы считаем, что те растения, которые были указаны в проектном списке дендрария ГБС 1950 г., выращивались, но выпали, а также те, которые были испытаны в ГБС вне плана и хорошо показали себя, необходимо поддерживать в ротации таксонов коллекции дендрария ГБС. Среди таких растений виды родов *Oplopanax*, *Hedera* (Araliaceae), *Periploca* (Asclepiadaceae), *Artemisia* (Asteraceae), *Calycanthus* (Calycanthaceae), *Clethra* (Clethraceae), *Platycladus* (Cupressaceae), *Diospyros* (Ebenaceae), *Shepherdia* (Elaeagnaceae), *Eucommia* (Eucommiaceae), *Leptopus* (Euphorbiaceae), *Cercis*, *Lespedeza*, *Sophora*, *Halimodendron* (Fabaceae), *Castanea* (Fagaceae), *Poliothyrsis* (Flacourtiaceae), *Parrotia*, *Corylopsis* (Hamamelidaceae), *Itea* (Iteaceae), *Carya* (Juglandaceae), *Callicarpa* (Lamiaceae), *Akebia* (Lardizabalaceae), *Maclura* (Moraceae), *Myrica* (Myricaceae), *Jamesia* (Oleaceae), *Atraphaxis*, *Fallopia* (Polygonaceae), *Ceanothus* (Rhamnaceae), *Sibiraea*, *Rhodotypos*, *Purshia*, *Cercocarpus* (Rosaceae), *Skimmia* (Rutaceae), *Xanthoceras*, *Koelreuteria* (Sapindaceae), *Paulownia* (Scrophulariaceae), *Ailanthus* (Simaroubaceae), *Pterostyrax* (Styracaceae), *Tamarix*, *Myricaria* (Myricaceae), *Metasequoia* (Taxodiaceae), *Stewartia* (Theaceae), *Daphne* (Thymelaeaceae), *Hemiptelea*, *Zelkova* (Ulmaceae), *Ampelopsis* (Vitaceae).

Заключение

Подавляющее большинство растений, привлеченных к первичным интродукционным испытаниям с целью повышения разнообразия коллекции дендрария ГБС, хорошо себя показало, и их испытания следует продолжать, чтобы пополнить коллекцию новыми для нее родами древесных растений на постоянной основе. Часть из них – это растения из первоначального проектного списка 1950 г., значительную долю которых необходимо включить в коллекцию и систему ротации коллекции дендрария. Данную методику подбора растений для проведения первичных интродукционных испытаний мы считаем успешной и планируем и дальше выбирать растения для интродукции, используя принципы, лежащие в ее основе.

На данном этапе нашей интродукционной работы по улучшению качественного состава коллекции дендрария ГБС мы полагаем, что приведенные данные – это практически полный список родов, которые сейчас доступны для проведения первичных интродукционных испытаний. В этом списке отсутствуют роды древесных растений, требующих подготовки специфических экспозиций (альпийские и вересковые кустарники), а также роды растений, представители которых настолько редки в культуре или в природе, что материал для их выращивания не представляется возможным получить ни по одному из известных нам каналов обмена или покупки. Таким образом, список родов, перспективных для интродукции в коллекции дендрария ГБС, с точки зрения ее расширения, является практически полным на момент публикации статьи. Также стоит отметить, что с учетом специфики условий дендрария ГБС, где мы можем выращивать деревья первого и второго

Интродукция и акклиматизация

яруса или теневыносливые кустарники. Пик пополнения родами нашей коллекции уже пройден.

Список литературы

1. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. 547 с.
2. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН: 60 лет интродукции. М.: Наука, 2005. 586 с.
3. Древесные растения, рекомендуемые для озеленения Москвы. М.: Наука, 1990. 157 с.
4. Лапин П.И., Бородина Н.А., Плотникова Л.С. Дендрологическая коллекция Главного ботанического сада АН СССР. // Успехи интродукции растений. М.: Наука, 1973. С. 66–85.
5. Яценко И.О., Рысин С.Л., Яценко О.В. Интродукция новых родов древесных растений в дендрарий Главного ботанического сада РАН // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2019. Т. 18. № 1. С. 650–652.
6. Дендрарий Главного ботанического сада. М.: Наука, 1993. 96 с.
7. Деревья и кустарники. Краткие итоги интродукции в Главном ботаническом саду Академии наук СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 192 с.
8. Global Strategy of Plant Conservation. <https://www.cbd.int/gspc/> (дата обращения 25.01.2021)
9. Прохоров А.А., Карпун Ю.Н. Особенности распространения растений в коллекциях ботанических садов за пределами экологического оптимума // Принципы экологии. 2012. 3(3). С. 74–81
10. Информационно-поисковая система «Ботанические коллекции России и сопредельных государств». <http://garden.karelia.ru/look/index.shtml> (дата обращения 25.02.2020)
11. Интродукция и охрана растений в СССР и США. М.: Наука, 1986. 129 с.
12. Лапин П.И. Интродукция древесных растений в средней полосе европейской части СССР. Научные основы, методы, результаты. Л., 1974. 135 с.
13. Лапин П.И. Теория и практика интродукции древесных растений в средней полосе европейской части СССР. // Бюл. Гл. ботан. сада. 1971. Вып. 81. С. 60–69.
14. Опыт интродукции и охраны растений в СССР и США. М.: Наука, 1992. 187 с.
15. Бородина Н.А., Плотникова-Вартазарова Л.С., Петрова И.П. и др. Особенности перезимовки растений в дендрарии Главного ботанического сада в 1960–61 г. // Бюл. Гл. ботан. сада. 1963. Вып. 5. С. 12–13.
16. Немова Е.М., Александрова М.С. Итоги интродукции древесных растений семейства *Betulaceae* в Главном ботаническом саду РАН за 50 лет. // Бюл. Гл. ботан. сада. 2001. Вып. 181. С. 5–24.

17. Петрова И.П. Интродукция древесных растений Средней Азии в Москве. М.: Наука, 1978. 156 с.

18. Понятия, термины, методы и оценка результатов работы по интродукции растений. Кишинев: Совет ботан. садов СССР, 1971. 11 с.

19. Рекомендации по размножению и выращиванию новых и мало распространенных древесных растений для озеленения Москвы. М.: Изд-во АН СССР, 1989. 43 с.

20. Лапин П.И. О единой системе учёта работы по интродукции растений // Бюл. Гл. ботан. сада. 1953. Вып. 15. С. 50–66.

References

1. Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR [Woody plants of MBG AS USSR]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1975. 547 p.
2. Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina RAN: 60 let introduktsii [Woody plants of the RAS N.V. Tsitsin Main Botanical Garden: 60 years of introduction]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 2005. 586 p.
3. Drevesnye rasteniya, rekomenduemye dlya ozeleneniya Moskvy [Woody plants recommended for urban landscaping in Moscow] M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1990. 157 p.
4. Lapin P.I., Borodina N.A., Plotnikova L.S. Dendrologicheskaya kolleksiya Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR. [Dendrological collection of the Main Botanical Garden of Academy of Sciences of USSR] // Uspekhi introduktsii rastenii [Progress in plant introduction]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1973. Pp. 66–85.
5. Yatsenko I. O., Rysin S. L., Yatsenko O. V. Introduktsiya novykh rodov drevesnykh rastenii v dendrarii Glavnogo botanicheskogo sada RAN [New genus introduction to the Arboretum of the Main Botanical Garden, RAS]. // Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongoli [Botanical issues of South Siberia and Mongolia], 2019. T. 18. № 1. Pp. 650–652.
6. Dendrarii Glavnogo botanicheskogo sada [The Main Botanical Garden Arboretum] M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1993. 96 p.
7. Derev'ya i kustarniki. Kratkie itogi introduktsii v Glavnom botanicheskem sadu Akademii nauk SSSR [Trees and shrubs: summary of plant introduction in MBG AS USSR]. M.: Izd-vo AN SSSR [Moscow: Publishing House of AS USSR], 1959. 192 p.
8. Global Strategy of Plant Conservation. <https://www.cbd.int/gspc/> (Accessed 25.01.2021)
9. Prokhorov A.A., Karpun Yu.N. Osobennosti rasprostraneniya rastenii v kollektsiyakh botanicheskikh sadov za predelami ekologicheskogo optimuma // Principy ekologii. 2012. 3(3). Pp. 74–81.

Интродукция и акклиматизация

10. Informatsionno-poiskovaya sistema «Botanicheskie kolleksii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv». <http://garden.karelia.ru/look/index.shtml> (Accessed 25.02.2020)
11. Introduktsiya i okhrana rastenii v SSSR i SSHA. [Plant introduction and protection in USSR and USA] M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1986. 129 p.
12. Lapin P.I. Introduktsiya drevesnykh rastenii v srednei polose evropeiskoi chasti SSSR. Nauchnye osnovy, metody, rezul'taty [Woody plant introduction in central USSR. Fundamentals, methods, results]. L., 1974. 135 p.
13. Lapin P.I. Teoriya i praktika introduktsii drevesnykh rastenii v srednei polose evropeiskoi chasti SSSR. [Theory and practice of woody plant introduction in central USSR] // Byul. Gl. Botan. sada [Bul. Main Botan. Garden]. 1971. Issue 81. Pp. 60–69.
14. Opyt introduktsii i okhrany rastenii v SSSR i SSHA [Plant introduction and protection practices in USSR and USA]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1992. 187 p.
15. Borodina N.A., Plotnikova-Vartazarova L.S., Petrova I.P. i dr. Osobennosti perezimovki rastenii v dendriarii Glavnogo botanicheskogo sada v 1960–61 g. [Special aspects of plant overwintering in MBG Arboretum] // Byul. Gl. Botan. sada [Bul. Main Botan. Garden]. 1963. Issue 5. Pp. 12–13.
16. Nemova E.M., Aleksandrova M.S. Itogi introduktsii drevesnykh rastenii semeistva Betulaceae v Glavnom botanicheskem sadu RAN za 50 let. [The 50 years' achievements in Betulaceae introduction in MBG RAS] // Byul. Gl. Botan. sada [Bul. Main Botan. Garden]. 2001. Issue 181. Pp. 5–24.
17. Petrova I.P. Introduktsiya drevesnykh rastenii Srednei Azii v Moskve [Introduction of Central Asia woody plants in Moscow]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1978. 156 p.
18. Ponyatiya, terminy, metody i otsenka rezul'tatov raboty po introduktsii rastenii [Concepts, terms, methods and evaluation of results in plant introduction]. Kishinev: Sovet botanicheskikh sadov SSSR [Kishinev: USSR Botanical gardens' council], 1971. 11 p.
19. Rekomendatsii po razmnozheniyu i vyrashchivaniyu novykh i malo rasprostrannennykh drevesnykh rastenii dlya ozeleneniya Moskvy [Guidelines on new and rare plants propagation and cultivation for urban landscaping in Moscow]. M.: Izd-vo AN SSSR [Moscow: Publishing house of AS USSR]. 1989. 43 p.
20. Lapin. P.I. O edinoi sisteme ucheta raboty po introduktsii rastenii [On the topic of a universal bookkeeping system of plant introduction] // Byul. Gl. Botan. sada [Bul. Main Botan. Garden]. 1953. 15. Pp. 50–66.

Информация об авторах

Яценко Игорь Олегович, канд. биол. наук, н. с.
E-mail: I_o_yatsenko@mail.ru
Яценко Ольга Владимировна, мл. н. с.
E-mail: olga.yatsenko.msu@gmail.com
Михеева Светлана Валерьевна, агроном
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской
академии наук
127276 Российская Федерация, Москва, ул. Ботаническая, д. 4

Information about the authors

Yatsenko Igor Olegovich, Cand. Sci. Biol., Researcher
E-mail: I_o_yatsenko@mail.ru
Yatsenko Olga Vladimirovna, Junior researcher
E-mail: olga.yatsenko.msu@gmail.com
Mikheeva Svetlana Valer'evna, Agronomist
Federal State Budgetary Institution of Science Tsitsin Main
Botanical Garden, Russian Academy of Sciences
127276 Russian Federation, Moscow, Botanicheskaya
street, 4

Интродукция и акклиматизация

И.Е. Анищенко

канд. биол. наук

О.Ю. Жигунов

канд. биол. наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический сад-институт Уфимского научного центра Российской академии наук
г. Уфа, Российская Федерация

Опыт культивирования

***Cephalophora aromatica* Schrad. в Южно-Уральском ботаническом саду-институте**

В настоящей работе впервые для Южного Урала представлен опыт интродукционного исследования малоизученного и малораспространенного в России ценного однолетнего эфирномасличного растения *Cephalophora aromatica* Schrad. (цефалофора ароматная) из семейства Asteraceae Dumort. (Астровые). Изучены особенности выращивания вида из семян, прохождения фенологических фаз роста и развития, оценены морфометрические параметры и успешность культивирования. Цефалофора ароматная образует хорошо облиствленные растения высотой до 30 см, шаро-видной формы, с многочисленными (до 10 шт.) головчатыми соцветиями с ароматом свежей земляники. По результатам исследований цефалофоры ароматной нами было установлено, что в условиях Башкирского Предуралья культура успешно прошла интродукционные испытания. Данный вид при посеве отличается хорошо растет и развивается в условиях открытого грунта и образует полноценные семена. За вегетационный период растения формируют достаточно большую биомассу сильно облиствленных надземных побегов. Изученный вид может быть рекомендован для культивирования в регионе Южного Урала в качестве пряного и декоративного растения.

Ключевые слова: *Cephalophora aromatica*, пряно-ароматические растения, интродукция, морфометрия, успешность культивирования.

I.E. Anishchenko

Cand. Sci. Biol.

O.Yu. Zhigunov

Cand. Sci. Biol.

Federal State Budgetary Institution for Science
Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
Ufa, Russian Federation

Experience of *Cephalophora aromatica* Schrad. cultivation in the South-Ural botanical garden-institute

This work presents for the first time for the South Urals the experience of introduction study of little learned and low-spread in Russia valuable one-year ethereal plant *Cephalophora aromatica* Schrad. from Asteraceae Dumort family. The features of growing the species from seeds, passing phenological phases of growth and development were studied, morphometric parameters and cultivationsuccess were evaluated. *Cephalophora aromatica* forms well-leafy plants up to 30 cm tall, spherical in shape, with numerous (up to 10 pcs.) head-shaped flowers with the aroma of fresh strawberries. According to the results of studies of *Cephalophora aromatica*, we found that under the conditions of the Bashkir Cis-Urals, the culture successfully passed the introduction tests. This species during planting is distinguished by well growing and developing in open soil conditions and forms full-fledged seeds. During the growing period the plants form a sufficiently large biomass of strong-skin above-ground shoots. The species studied may be recommended for cultivation in the regionof the South Urals as a aromatic and decorative plant.

Keywords: *Cephalophora aromatica*, aromatic plants, introduction, morphometry, cultivationsuccess.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1078

Среди большого разнообразия наиболее широко использующихся в последние десятилетия в пищевой и фармацевтической промышленности пряно-ароматических растений (укроп, петрушка, кориандер, базилик, эстрагон и др.), содержащих эфирные масла, есть виды растений, которые малоизвестны и мало используются. Это обусловлено отсутствием информации об их биологических

особенностях, в связи с чем их изучение при интродукции становится актуальным. Одним из таких растений является *Cephalophora aromatica* Schrad. (цефалофора ароматная) из семейства Asteraceae Dumort. (Астровые). Сведений по изучению в Республике Башкортостан, а также в регионе Южного Урала выше указанного вида нет.

Интродукция и акклиматизация

Родиной вида являются горные субтропические районы Южной Америки (Чили). В культуру введена лишь в странах Западной Европы, Америки, Молдавии, Средней Азии, а также в южной и средней полосе России [1].

Цефалофора ароматная – однолетнее травянистое растение высотой до 60 см со стержневой корневой системой (более 1 м). Отличается прямостоячими, сильно разветвленными от основания побегами, что придает растению шаровидную форму, диаметром свыше 30 см. Листья бесчерешковые, очередные, ланцетовидные, с железистым опушением. На верхушке каждого побега формируются головчатые соцветия, цветки многочисленные, мелкие, желтые, диаметром до 9 мм. Каждое соцветие содержит более 100 цветков. Цветение начинается в июне–июле и длится больше месяца. Плод – семянка темно-бурого цвета. Все части растения содержат эфирное масло с землянично-ананасовым ароматом. Больше всего масла содержится именно в соцветиях [2].

Цефалофора ароматная – ценное пряное, эфиромасличное, а также декоративное растение. В надземной, хорошо облиственной части растений, которую заготавливают в период полного цветения содержится от 0,25 до 0,35% эфирного масла с ароматом свежей земляники, в состав которого входят сложные эфиры амилового и высших спиртов с масляной и метилэтилуксусной кислотами. Также в цефалофоре обнаружены витамины С, В1, В2, микрозлементы. Растение обладает антимикробными, противоопухолевыми, цитотоксическими, капилляро-укрепляющими свойствами. Цефалофору используют для ароматизации напитков, десертов, сыров и других пищевых продуктов, применяют в парфюмерии. Используется в качестве декоративного растения в каменистых садах, желтые головки соцветий привлекательны в букетах, в том числе зимних – в качестве ароматного сухоцвета, обладает инсектицидными свойствами [3].

Целью данной работы было интродукционное изучение малораспространенного в России пряно-ароматического растения *C. aromatic*. Исследование цефалофоры проводилось на коллекции пряно-ароматических растений Южно-Уральском ботаническом саду-институте Уфимского ФИЦ РАН (Башкирское Предуралье, северная лесостепь). Коллекционный участок в настоящее время насчитывает около 80 видов и сортов эфирномасличных растений [4–7]. Семена цефалофоры получены нами из ГБС РАН (г. Москва).

Условия и методы исследования

Климатические условия города Уфа: среднегодовая температура воздуха +2,6°C, среднемесячная температура воздуха зимних месяцев колеблется в пределах от -12°C до -16,6°C, абсолютный минимум был отмечен в -42°C. Среднемесячная температура воздуха летних месяцев колеблется от +17,1°C до +19,4°C, абсолютный максимум достигает до +37°C, среднемесячное количество осадков в летние месяцы колеблется в пределах от 54 до 69 мм, среднегодовое количество осадков равно 580 мм, безморозный

период продолжается в среднем 144 дня. Преобладающие типы почв Ботанического сада г. Уфы – серые и темно-серые лесные [8].

При интродукционном исследовании оценку прохождения фенологических фаз проводили по Н.В. Трулевич [9]. При анализе количественных показателей использовали стандартные процедуры: средние арифметические (M), ошибки средней арифметической (m), коэффициент вариации (C_v , %) [10].

Результаты и обсуждение

В Южно-Уральском ботаническом саду-институте цефалофору ароматную выращивали на коллекционном участке пряно-ароматических растений двумя способами – посевом семян непосредственно в грунт и рассадным способом. В первом случае цефалофора была посажена в грунт в начале июня (06.06), через 10 дней было отмечено появление всходов. К концу июня растения образовали шаровидные кустики с большим количеством побегов. Бутонизация цефалофоры ароматной была отмечена 16.07, начало цветения – 23.07, массовое цветение – 03.08. Созревание семян неодновременное: начало отмечено 20.08 и продолжалось до конца сентября.

При рассадном способе семена цефалофоры были посеяны в ящики в конце марта в условиях стеклянных обогреваемых производственных теплиц. Всходы были отмечены через 7–10 дней. В грунт растения были высажены в начале июня в стадии розетки. После посадки почву содержали в рыхлом и чистом от сорняков состоянии. В фазе розетки растения подкармливали аммофоской из расчета 30–40 г/м². Начало бутонизации у этих растений было отмечено в начале июля, массовое цветение во второй декаде июля (18.07). Созревание семян началось в середине августа и продолжалось до конца сентября.

Поскольку срок созревания семян цефалофоры ароматной растянут, сбор семян начинают проводить, когда у большей части соцветий созревают семена. С этой целью генеративные побеги срезают и просушивают, затем их обмолачивают.

Исследование морфобиологических параметров (табл.) цефалофоры ароматной проводили в период массового цветения, при этом в измерения были вовлечены 25 модельных экземпляров растений данного вида. По результатам измерений нами было установлено, что в условиях Башкирского Предуралья (северная лесостепь) цефалофора образует более низкорослые растения (до 30 см) по сравнению с Нечерноземной зоной (ГБС РАН), где высота растений достигает более 70 см.

Все морфометрические параметры изученных в наших условиях растений цефалофоры обладают нормальной степенью варьирования – от 0 до 11,7 %.

В качестве пряно-ароматического сырья надземная часть цефалофоры ароматной нами заготавливала в период массового цветения, поскольку именно в эту фазу развития растения содержат наибольшее количество эфирных масел. Для этого растения срезали на высоту 20 см от

Интродукция и акклиматизация

Таблица. Показатели морфометрических параметров *C. aromatic*

Параметры	M±m	C _v , %
Высота растения, см	26.6±1.05	10.4
Толщина побега, см	0.1±0.00	0.0
Число побегов на растении, шт.	24.7±2.33	6.3
Длина листа, см	2.8±0.10	9.8
Ширина листа, см	0.6±0.02	8.3
Число листьев на генеративном побеге, шт.	34.1±1.32	10.2
Диаметр соцветия, см	0.7±0.03	11.7
Число соцветий на генеративном побеге, шт.	9.9±0.34	9.1
Число цветков в соцветии, шт.	119.4±2.49	5.7
Число семян в соцветии, шт.	92.4±3.24	8.7
Надземная биомасса растений, г	103.4±0.21	5.1

Примечание: M – среднее значение параметра; m – ошибка среднего значения параметра; C_v – коэффициент вариации.

поверхности земли, затем растения высушивали под навесом в течение двух недель. В качестве сырья растения можно использовать как в свежем, так и в высушенном виде.

Заключение

Таким образом, по результатам исследований цефалофоры ароматной нами было установлено, что в условиях Башкирского Предуралья культура успешно прошла интродукционные испытания. Данный вид при посеве отличается хорошо растет и развивается в условиях открытого грунта и образует полноценные семена. За вегетационный период растения формируют достаточно большую биомассу сильнооблиственных надземных побегов. Изученный вид может быть рекомендован для культивирования в регионе Южного Урала в качестве пряного и декоративного растения.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие природных систем и биологические ресурсы России», а также в рамках государственного задания ЮУБСИ УФИЦ РАН по теме № АААА-А18-118011990151-7

Список литературы

1. Машанов В. И., Покровский А. А. Пряноароматические растения. ISBN5-10-000601-3. М.: Агропромиздат, 1991. 287 с.
2. Муханова Ю.И., Хомякова Е.М. Пряная зелень на грядках. ISBN 5-239-01195-8. М.: Московский рабочий, 1991. 280 с.
3. Воронина Е. П., Горбунов Ю. Н., Горбунова Е. О. Новые ароматические растения для Черноземья. ISBN 5-02-004484-9. М.: Наука. 2001. 173 с.
4. Растения Южно-Уральского ботанического сада института УФИЦ РАН. ISBN 978-5-9613-0625-5. Уфа: Мир печати, 2019. 304 с.
5. Анищенко И.Е.. Жигунов О.Ю. Монарда - новая перспективная пряно-ароматическая культура для Башкирского Предуралья //Аграрная Россия. 2013. № 2. С. 11-13.
6. Анищенко И. Е.. Жигунов О. Ю. Культура тимьяна (*Thymus L.*) в Республике Башкортостан // Аграрная Россия. 2014. № 4. С. 8-11.
7. Анищенко И. Е.. Жигунов О. Ю. Опыт культивирования базилика обыкновенного (*Ocimum basilicum L.*) в Башкирском Предуралье // Научные ведомости

Интродукция и акклиматизация

Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 3 (122). С. 74–77.

8. Кадильникова Е.И. Климат района г. Уфы // Записки Башкирского филиала Географ. общества СССР. Уфа, 1960. С. 61–71.

9. Трулевич Н.В. Эколого-фитоценотические основы интродукции растений. ISBN5-02-004007-X. М.: Наука, 1991. 216 с.

10. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. ISBN 5-02-004053-3. М.: Наука, 1990. 296 с.

References

1. Mashanov V.I., Pokrovskij A.A. Pryano-aromaticeskie rasteniya [Aromatic plants]. M.: Agropromizdat [Moscow: Publishing House «Agropromizdat»], 1991. 287 p.

2. Muhanova Yu.I., Homjakova E.M. Pryanaya zelen' na gryadkah [Spicy herbs in the beds]. M.: Moskovskij rabochij [Moscow: Publishing House «Moscow worker»], 1991. 280 p.

3. Voronina E.P., Gorbunov Yu.N., Gorbunova E.O. Novye aromaticeskie rasteniya dlya Chernozem'ya [New aromatic plants for the black earth region]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 2001. 173 p.

4. Rasteniya Yuzhno-Ural'skogo botanicheskogo sada-instituta UFIC RAN [Plants of the South-Ural Botanical garden-institute of the UFIC RAS]. Ufa: Mir pechati [Ufa: Publishing House «Print world»], 2019. 304 p.

5. Anishchenko I.E., Zhigunov O.Yu. Monarda – novaya perspektivnaya pryanoy-aromaticeskaya kul'tura dlya Bashkirskogo Predural'ya [Monarda-a new perspective spicy-aromatic culture for the Bashkir Cis-Urals] // Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia], 2013. N 2. Pp. 11–13.

6. Anishchenko I. E., Zhigunov O. Yu. Kul'tura tim'yana (*Thymus L.*) v Respublike Bashkortostan [Culture of *Thymus L.* in the Bashkortostan Republic] // Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia], 2014. N 4. Pp. 8–11.

7. Anishchenko I. E., Zhigunov O. Yu. Opyt kul'tivirovaniya bazilika obyknovennogo (*Ocimum basilicum L.*) v Bashkirskom Predural'e [Experience of cultivation of *Ocimum basilicum L.* in the Bashkir Cis-Urals] // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki [Scientific Bulletin of the Belgorod state University. Series: Natural Sciences], 2012. N 3 (122). Pp. 74–77.

8. Kadil'nikova E.I. Klimat rajona g. Ufy [Climate of the district of Ufa city] // Zapiski Bashkirskogo filiala Geograf. obshchestva SSSR [Notes of the Bashkir branch of Geograph. societies of the USSR]. Ufa, 1960. Pp. 61–71.

9. Trulevich N.V. Ekologo-fitocenoticheskie osnovy introdukcii rastenij [Ecological-phytocenotic basis of plant introduction]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1991. 216 p.

10. Zajcev G.N. Matematika v eksperimental'noj botanike [Mathematics in experimental botany]. M.: Nauka [Moscow: Publishing House «Science»], 1990. 296 p.

Информация об авторах

Анищенко Ирина Евгеньевна, канд. биол. наук
Жигунов Олег Юрьевич, канд. биол. наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Ботанический сад-институт Уфимского научного центра Российской академии наук

450080, Россия, Уфа, ул. Менделеева 195/3

Information about the authors

Anishchenko Irina Yevgenevna, Cand. Sci. Biol.
Zhigunov Oleg Yurevich, Cand. Sci. Biol.

Federal State Budgetary Institution for Science Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences

450080, Bashkortostan Republic, Ufa, Mendeleev st. 195/3

Интродукция и акклиматизация

O.E. Воронина

канд. с.-х. наук, н.с.

E-mail: olgvoron@mail.ru

A.V. Кабанов

канд. биол. наук, ст.н.с.

E-mail: alex.kabanow@rambler.ru

N.A. Мамаева

канд. биол. наук, ст.н.с.

E-mail: mamaeva_n@list.ru

Ю.А. Хохлacheva

канд. биол. наук, ст.н.с.

E-mail: jusic-la@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва

Известно, что представители рода *Hosta* L. обладают высокой приспособляемостью, но чувствительны к засухе, уровню освещенности и резким колебаниям температур. В настоящей работе продолжено изучение динамики накопления фотосинтетических пигментов и сопряженных с ней процессов на примере нескольких представителей рода *Hosta*, произрастающих в условиях открытого грунта в составе коллекции лаборатории декоративных растений. Было отобрано три образца: культивированный вид *H. undulata* (Otto et Dietr.) Bailey и два сорта, полученных на его основе, – 'Mediovariegata' и 'Univittata'. В течение весенне-летнего периода 2019 года изучена динамика накопления фотосинтетических пигментов, роста и развития растений, а также фенологических фаз. Показаны различия в динамике накопления хлорофилла в листьях экспериментальных растений, в их росте и развитии. Полученные результаты позволили выявить сортовые различия исследуемых растений. Установлено, что *H. undulata* и сорта 'Mediovariegata' и 'Univittata', обладая высокой степенью адаптации, чувствительны к изменению освещенности и влажности места произрастания. Основные максимумы накопления фотосинтетических пигментов обусловлены индивидуальными особенностями каждого из объектов исследования, метеорологическими условиями места обитания, а также объемом закладки почек для весеннего отрастания.

Ключевые слова: *Hosta* L., устойчивость, фотосинтетические пигменты, рост и развитие, экологоклиматические условия, уровень адаптации.

O.E. Voronina

Cand. Sci. Agric., Senior Researcher

E-mail: olgvoron@mail.ru

A.V. Kabanov

Cand. Sci. Biol., Senior Researcher

E-mail: alex.kabanow@rambler.ru

N.A. Mamaeva

Cand. Sci. Biol., Senior Researcher

E-mail: mamaeva_n@list.ru

J.A. Khokhlacheva

Cand. Sci. Agric., Senior Researcher

E-mail: jusic-la@yandex.ru

Tsitsin Main Botanical Garden of Russian

Academy of Sciences

Сравнение производственных показателей *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey и сортов Mediovariegata и Univittata, полученных на ее основе

Comparison of production indicators of *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey and varieties Mediovariegata and Univittata obtained from it

It is known that members of the genus *Hosta* L. have high adaptability, but are sensitive to drought, light levels and sudden temperature fluctuations. In this paper, we continue to study the dynamics of accumulation of photosynthetic pigments and related processes on the example of several representatives of the *Hosta* genus growing in open ground as part of the collection of ornamental plants in the laboratory. Three samples were selected: the cultigenic species *H. undulata* (Otto et Dietr.) Bailey and two varieties derived from it, 'Mediovariegata' and 'Univittata'. During the growing season of 2019, the dynamics of accumulation of photosynthetic pigments, plant growth and development, as well as phenological phases were studied. Differences in the dynamics of chlorophyll accumulation in the leaves of experimental plants, their growth and development are shown. The results obtained allowed us to identify varietal differences of the studied plants. It was found that *H. undulata* and the varieties 'Mediovariegata' and 'Univittata', having a high degree of adaptation, are sensitive to changes in the light and humidity of the growing place. The main maximums of accumulation of photosynthetic pigments are determined by the individual characteristics of each of the research objects, the meteorological conditions of the habitat, as well as the volume of budding for spring regrowth.

Keywords: *Hosta* L., stability, accumulation of photosynthetic pigments, growth and development, environmental and climatic conditions, the level of adaptation.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1079

Интродукция и акклиматизация

Для многих белоокаймленных форм декоративных растений характерна пониженная жизнеспособность. В тоже время для большинства сортов представителей рода *Hosta* L. данная характеристика не оказывает негативного воздействия на устойчивость в культуре. В последние десятилетия учеными были предприняты усилия для характеристики адаптивных морфологических и экофизиологических признаков, лежащих в основе стратегий выживания растений [1,2,3]. С целью прогнозирования уровня адаптации растений, произрастающих на экспозициях открытого грунта Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН [4], были проведено изучение ответных физиологических реакций, их роста и развития *Hosta undulata* (Otto et Dietr.) Bailey и двух сортов 'Mediovariegata' и 'Univittata', полученных на ее основе.

Известно, что одним из показателей устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды является накопление фотосинтетических пигментов. Нарушение сбалансированности между процессами фотосинтеза и запасания ассимилятов приводит к потере приспособляемости растений к неблагоприятным факторам среды [1, 2]. Сравнение показателей динамики роста и развития растений, активности их фотосинтетической системы (содержания пигментов), фенотипической изменчивости, позволяет выделять наиболее перспективные сорта, обладающие высокой степенью адаптации к новым условиям произрастания [3].

Лаборатория декоративных растений (ЛДР) ГБС РАН обладает большим коллекционным фондом декоративных травянистых растений, охватывающим растения из различных географических зон и экологических условий. В настоящее время в составе коллекционного фонда ЛДР сложилась выборка культиваров с декоративно-окрашенными листьями, включающая виды, разновидности, формы и сорта, которые относятся к 44 родам из 23 семейств [5]. При этом наибольшее число родов относится к четырем крупным семействам: *Poaceae* Barnhart, *Asteraceae* Dum., *Laminaceae* Lindl. и *Saxifragaceae* Juss. В рамках многолетних интродукционных исследований установлено, что для целого ряда цветнолистных форм и сортов характерно снижение жизнеспособности (замедление темпов вегетативного роста, наступление фазы цветения в более поздние сроки и т.д.) [6]. В тоже время для отдельных родов, напротив, отмечено отсутствие внешнего негативного влияния пестролистности на рост и развитие растений. Типичными представителями данной группы являются представители рода *Hosta*. На основании этого в качестве модельных объектов исследования были отобраны представители указанного рода.

Отобранные для эксперимента растения входят в состав коллекции родового комплекса *Hosta* в ЛДР ГБС РАН, которые с 2012 года экспонируются на территории экспозиционного участка «Декоративные травянистые многолетники».

В период проведения эксперимента с мая по конец августа 2019 года погодные условия были достаточно стабильными. Первая половина весны и начала лета были

сухими с переменной облачностью и практически без дождей, вторая, начиная с середины июля, – с дождями и высокой облачностью. Средняя температура мая была несколько выше обычной, для данного района, и составила +20.8 °C (дневная), +16.5 °C (ночная), практически без осадков и переменной облачностью. Июнь был жаркий: средняя температура – 24.5 °C / 20.2 °C; июль: 20.0 °C / 16.3 °C; август 20.7 °C / 16.2 °C день/ночь соответственно. Растения стабильно развивались, не испытывая сильно выраженного эколого-климатического воздействия. Сравнение полученных экспериментальных данных: *H. undulata* (контроль), *H. undulata* 'Univittata' и *H. undulata* 'Mediovariegata' позволило выделить наиболее физиологически пластичные и устойчивые генотипы.

Цель работы состояла в сравнении уровня адаптации трех представителей рода *Hosta*: *H. undulata* и сортов – 'Univittata' и 'Mediovariegata', произрастающих в условиях открытого грунта.

Задачи исследования включали: регистрацию динамики содержания фотосинтетических пигментов в листьях исследуемых растений; наблюдение за прохождением фенологических фаз каждого объекта; учет биометрических показателей; оценка достоверности исследуемых параметров по t-критерию Стьюдента.

Объекты и методы

Объектом исследования служили три представителя рода *Hosta* – *H. undulata*, *H. undulata* 'Univittata', *H. undulata* 'Mediovariegata'. В качестве контроля был выбран культивенный вид *H. undulata* [7], для сравнения были введены два типичных пестролистных сорта с различным соотношением пигментированных частей – *H. undulata* 'Univittata' (зеленоокаймленный) и *H. undulata* 'Mediovariegata' (белоокаймленный). Первый сорт по фенотипическим характеристикам близок к контролю, но характеризуется большими линейными размерами и преобладанием зеленоокрашенных частей листовой пластинки. Для второго сорта характерна стандартная (нескрученная) форма листовой пластинки с более узким по ширине белым окаймлением.

Все три отобранных образца произрастают в условиях открытого грунта, на открытой территории без затенения. Дополнительный полив и внекорневые подкормки не проводились.

Наблюдения и регистрация дат фенологических фаз, биометрических показателей и отбор проб для измерения динамики содержания пигментов Хл_(a, b) проводили ежедневно в начале вегетации с 14 мая 1 раз в неделю, с 11 июня – 1 раз в 7 дней. Биометрические показатели [8] роста и развития растений измерялись традиционным методом в течение всего вегетационного периода, каждые 2-7 дней ($n \geq 5$).

Динамику накопления Хл_(a, b) измеряли каждые 2-7 дней, на спектрофотометре SPEKOL 11 (Karl Zeiss Jena, GDR); ($n=5$) [9]. Для контроля достоверности полученных данных было проведено сравнение сырого и сухого веса

Интродукция и акклиматизация

растений. Навеску растительного материала (250 мг) каждого образца исследуемых растений на 24 часа помещали в сушильный шкаф при $T = 105^{\circ}\text{C}$, после высушивания сухой вес каждого образца составил $152,3 \pm 0,8\text{ мг}$.

Статистическая обработка результатов 5–10 биологических повторностей каждого варианта опыта была проведена по t -критерию Стьюдента ($P < 0,01$) [8]. Расчёт показал на 1%-уровне значимости достоверность различий между исследуемыми образцами. Различия в длине растений каждого из представленных образцов в высшей степени достоверны.

Результаты и обсуждение

Типичные представители рода *Hosta* экологически приурочены к влажным лесным местообитаниям [7, 10, 11, 12] и предпочитают затененные места произрастания, но приспособливаются и к высокой степени освещенности.

Сравнение данных динамики накопления $X_{L(a+b)}$, представленных на рис. 1, показало, что накопление $X_{L(a+b)}$ в листьях всех исследуемых растений за вегетационный период у трех исследуемых образцов различно и зависело как от индивидуальных особенностей растений, так и метеорологических условий весеннего-летне-осеннего периода. Низкое содержание $X_{L(a+b)}$ у всех трех *Hosta* в период с мая по первую декаду июля непосредственно связаны с климатическими условиями – начиная с апреля по середину

июля – засуха, $t_{cp} = 24 \pm 5^{\circ}\text{C}$, облачных дней практически не было. За период наблюдений с 14.05.19 по 09.07.19 про слеживаются небольшие максимумы накопления $X_{L(a+b)}$, связанные с прохождением растениями фенологических фаз. Увеличение содержания $X_{L(a+b)}$, регистрируемое после 09 июля, обусловлено в первую очередь изменением метеорологических условий и, во вторую, фазой закладки семенного потомства и возможно, начального этапа подготовки растения к концу этапа заложения почек возобновления. Начиная с 14 июля, наблюдалось похолодание, осадки, температура воздуха понизилась с $+24^{\circ}\text{C}$ и колебалась в пределах от $+13^{\circ}\text{C}$ до $+19^{\circ}\text{C}$, стояла пасмурная погода с более низкой степенью освещенности [13], что характерно для естественных мест обитания *Hosta*, что привело к существенному увеличению содержания пигментов в растениях.

H. undulata, принятая за контроль и одна из ее вариегатных форм – *H. undulata 'Univittata'*, практически одновременно проходили фенологические фазы, разница составляла 1–2 дня. Фазу цветения (ФЦ) у вышеупомянутых растений фиксировали 2 июня, а fazu закладки семян (ФЗС) – 19 июля. Важно отметить, что ФЦ у *H. undulata 'Mediovariegata'* наступала позже – 09 июля, а ФЗС в середине августа. Результаты, динамики накопления $X_{L(a+b)}$, представленные на рис. 1, совпадают с периодами прохождения растениями фенологических фаз: 26 мая – максимум накопления $X_{L(a+b)}$ – с 02.06 – начало цветения; 09.07 – максимум накопления $X_{L(a+b)}$ с 08.08 фаза закладки семян.

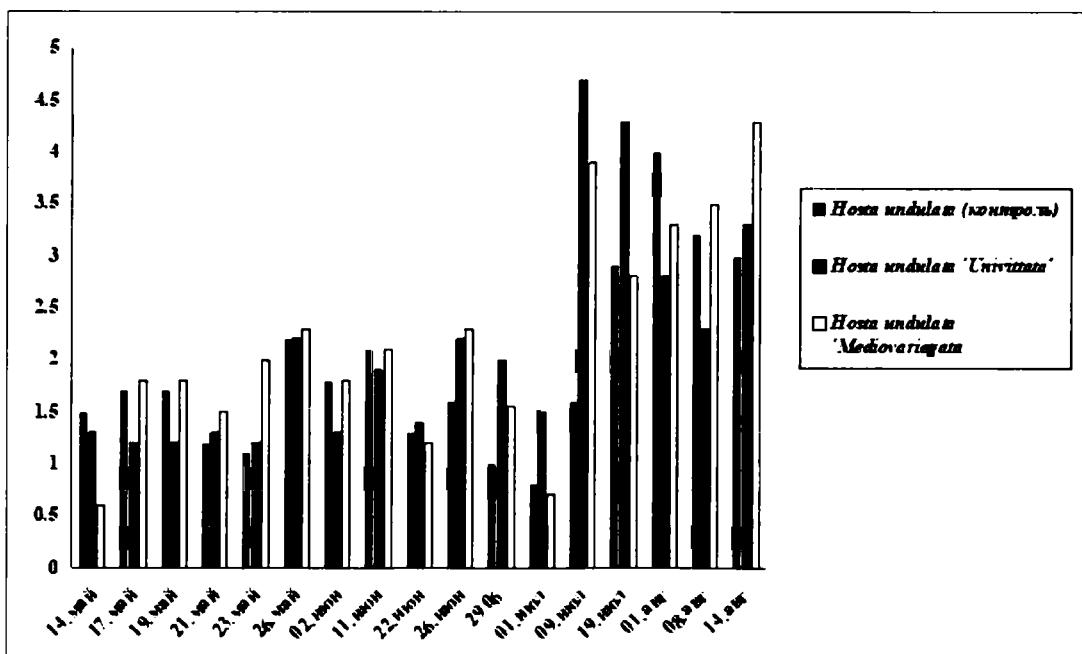


Рис. 1. Динамика накопления суммы хлорофиллов ($a+b$) *H. undulata*, *H. undulata 'Univittata'*, *H. undulata 'Mediovariegata'* в течение вегетационного периода 2019 года

Интродукция и акклиматизация

Содержание Хл_(a+b) в листьях *H. undulata* и *H. undulata* 'Univittata' в период высокой освещенности и засухи было ниже, чем у *H. Undulata* 'Mediovariegata'.

Содержание Хл_(a+b) в разных частях листа (зеленая (3), салатовая (C), белая (Б) *H. undulata* и *H. undulata* 'Univittata' (два объекта исследования, имеющие трехцветную окраску) было различно (рис. 2). Соотношение содержания хлорофилла З/С составило 1:2, З/Б – 1:4. Необходимо

отметить, что это соотношение прослеживалось весь вегетационный период. Произрастание растений на открытых участках с длительным периодом высокой освещенности (безоблачные дни) приводило к уменьшению площади салатовой части листа у *H. undulata* 'Univittata'.

Данные накопления фотосинтетических пигментов согласуются с результатами роста и развития исследуемых растений.

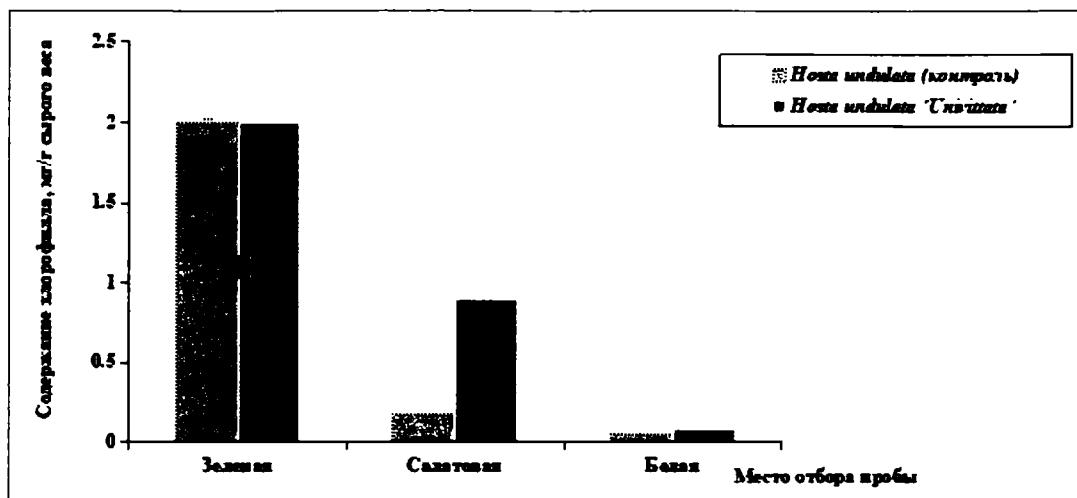


Рис. 2. Содержание хлорофиллов (a+b) в различных частях листа *H. undulata*, *H. undulata* 'Univittata' (определение 26.06.2019 г.)

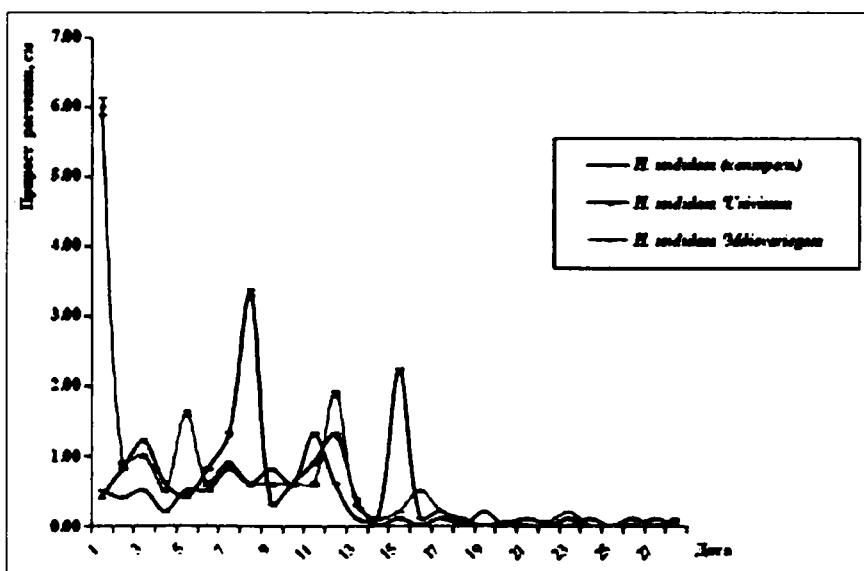


Рис. 3. Прирост исследуемых растений за вегетационный период 2019 года. 1 - 14.05; 2 - 15.05; 3 - 16.05; 4 - 17.05; 5 - 18.05; 6 - 21.05; 7 - 22.05; 8 - 23.05; 9 - 24.05; 10 - 27.05; 11 - 28.05; 12 - 29.05; 13 - 30.05; 14 - 25.06; 15 - 26.06; 16 - 27.06; 17 - 28.06; 18 - 01.07; 19 - 03.07; 20 - 04.07; 21 - 05.07; 22 - 09.07; 23 - 11.07; 24 - 22.07; 25 - 26.07; 26 - 01.08; 27 - 08.08; 28 - 14.08

Интродукция и акклиматизация

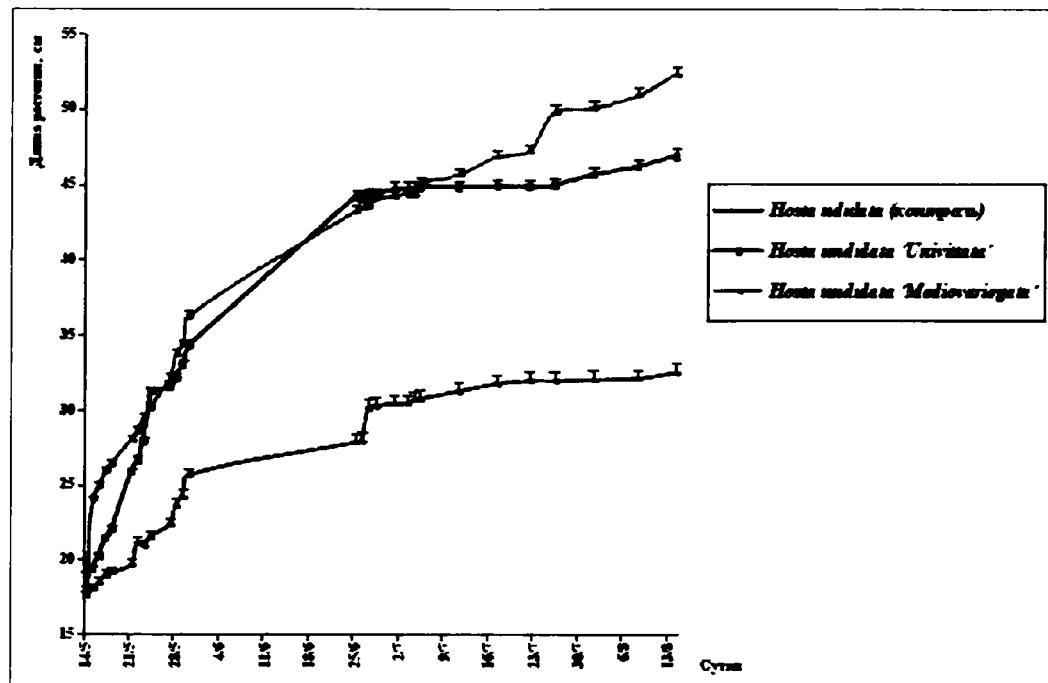


Рис. 4. Динамика роста (высота) *H. undulata* и двух сортов *H. undulata* 'Univittata', *H. undulata* 'Mediovariegata' (вегетационный период 2019 года)

За время изучения динамики ростовых процессов, было выявлены различия в приросте и конечной высоте каждого из исследуемых объектов (рис. 3, 4).

Наибольший прирост у всех трех объектов наблюдался до конца июня, далее рост растений практически останавливался (рис. 3). Самые большие значения фиксировали у *H. undulata* 'Mediovariegata' – $6,0 \pm 0,5$ см, далее *H. undulata* 'Univittata' – $3,3 \pm 0,25$ см и минимальный прирост у *H. undulata* – $2,2 \pm 0,1$ см.

Наибольшая высота растения к концу вегетационного периода была зарегистрирована у *H. undulata* 'Mediovariegata' и составила 52,3 см, *H. undulata* 'Univittata' – 46,9 см и наименьшая у *H. undulata* – 32,5 см.

Необходимо отметить, что к 28 июня практически прекращается рост всех опытных образцов (рис. 2, 3). К середине августа у всех растений было зафиксировано прохождение основных фенологических фаз.

Таким образом, у исследованных образцов *H. undulata*, *H. undulata* 'Univittata', *H. undulata* 'Mediovariegata' выявлены сортовые различия в датах прохождения фенологических фаз, росте и развитии растений, а так же динамики накопления фотосинтетических пигментов. Установлено, что все исследованные растения, обладая высокой степенью адаптации, чувствительны к изменению освещенности и влажности места произрастания. Основные максимумы накопления фотосинтетических пигментов обусловлены индивидуальными особенностями каждого из объектов исследования, метеорологическими условиями места

обитания, а так же объемом закладки почек для весеннего отрастания (июль-август).

**Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН
(№ 118021490111-5)**

Список литературы

1. Fernández-Marín B*, Hernández A, García-Plazaola JI, Esteban R, Míguez F, Artetxe U, Gómez-Sagasti MT Photoprotective Strategies of Mediterranean Plants in Relation to Morphological Traits and Natural Environmental Pressure: A Meta-Analytical Approach // Spain.Frontiers in PlantScience. 2017. Department of Plant Biology and Ecology. University of the Basque Country (UPV/EHU). Pp. 1051–1067. DOI: 10.3389/fpls.2017.01051.
2. Тян С.Р., Лей Ю.Б. Физиологические ответные реакции проростков пшеницы на засуху и облучение УФ-Б. Влияние нитропруссида натрия // Физиология растений. 2007. Т. 54. С. 736–769.
3. Гуревич А.С. Хронологические закономерности онтогенетических изменений роста и фотосинтеза Георгины культурной (*Dahlia*×*Cultorum*) // Известия ТСХА.2010. Вып. 6. С. 43–50.
4. Воронина О.Е. Показатели качества интродукции трех видов *Tamarix* в средней полосе России // Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 5. С. 37–42.

Интродукция и акклиматизация

5. Бондорина И.А., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Хохлачева Ю.А. Современное состояние коллекционного фонда Лаборатории декоративных растений ГБС РАН // Известия Саратовского университета. Серия: Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19. № 1. С. 79–86.

6. Бондорина И.А., Кабанов А.В., Мамаева Н.А., Рябцева А.А., Хохлачева Ю.А. Растения с декоративной окраской листьев в составе коллекции ОДР ГБС РАН. Лесной вестник. Т. 22. № 2. 2018. С. 41–46.

7. Полетико О.М., Мишенкова А.П. Декоративные травянистые растения открытого грунта. Справочник по номенклатуре родов и видов. Л.: Наука, 1967. 208 с.

8. Лакин Г.Ф. Биометрия. М: Высшая школа. 1990. 352 с.

9. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Meth. Enzymol. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382.

10. W.-J. Kang, D.-H. Liu, S.-W. Zhao, H.-Y. Gao Causes of differences in water use efficiency between *Hosta ensata* and *H. plantaginea* Leaves // Zhiwu Shengli Xuebao. Plant Physiology Journal. 2017. 53(4). Pp. 641–648. DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2016.0517

11. Zhang, J. Z., Wang, W., Sun, G. F., Liu, H. Z., Li, X. D. Photosynthesis of *Hosta* under light and controlled-release nitrogen fertilizer// Russian Journal of Plant Physiology. 2011. 58(2). Pp. 261–270. DOI: 10.1134/S1021443711020269.

12. H. Mehraj, Kazuhiko Shimasaki Growth, flowering and leaf character variation of *hosta*// Journal of Environmental Science International. 2017. Vol. 24 Issue 12. Pp. 1583–1590. DOI: 10.18801/jbar.130117.133.11.

13. Gismeteo. Режим доступа: <https://www.gismeteo.ru> (дата обращения 04.02.2020).

kulturnoj (*Dahlia* × *culturum*) [Chronological regularities of ontogenetic changes in growth and photosynthesis Of *Dahlia culturum* (*Dahlia* × *culturum*)]. *Izvestiya TSKHA* [News of the Timiryazev agricultural Academy]. 2010. Vol 6. Pp. 43–50.

3. Voronina O.E. *Pokazateli kachestva introdukcii trekh vidov Tamarix v srednej polose Rossii* [Quality indicators for the introduction of three *Tamarix* species in Central Russia]. *Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences]. 2018. Vol. 20. N 5. Pp. 37–42.

4. Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Hohlacheva Y.U.A. *Sovremennoe sostoyanie kollektionnogo fonda Laboratorii dekorativnyh rastenij GBS RAN* [The current state of the collection Fund Of the laboratory of ornamental plants of the MBG RAS]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya: Himiya. Biologiya. Ekologiya* [Izvestiya of Saratov University. Series: Chemistry. Biology. Ecology]. 2019. Vol. 19, N 1. Pp. 79–86.

5. Bondorina I.A., Kabanov A.V., Mamaeva N.A., Ryabceva A.A., Hohlacheva Y.U.A. *Rasteniya s dekorativnoj okraskoj list'ev v sostave kollekci ODR GBS RAN* [Plants with decorative leaf color in the collection of DOP MBG RAS]. *Lesnoj vestnik* [Lesnoj vestnik]. Vol. 22, N 2. 2018. Pp.41–46.

6. Poletiko O.M., Mishenkova A.P. *Dekorativnye travyanistye rasteniya otkrytogo grunta. Spravochnik po nomenklaturi rodov i vidov* [Decorative herbaceous plants of the open ground. Handbook of nomenclature of genera and species]. Leningrad: Nauka, 1967. 208 p.

7. Lakin G.Ph.. *Biometria* [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 352 p.

8. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes . Meth. Enzymol. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382.

9. W.-J. Kang, D.-H. Liu, S.-W. Zhao, H.-Y. Gao Causes of differences in water use efficiency between *Hosta ensata* and *H. plantaginea* Leaves. Zhiwu Shengli Xuebao. Plant Physiology Journal. 2017. 53(4). Pp. 641–648.

10. Zhang, J. Z., Wang, W., Sun, G. F., Liu, H. Z., Li, X. D. Photosynthesis of *Hosta* under light and controlled-release nitrogen fertilizer. Russian Journal of Plant Physiology. 2011. 58(2). Pp. 261–270.

11. H. Mehraj, Kazuhiko Shimasaki Growth, flowering and leaf character variation of *hosta*// Journal of Environmental Science International. 2017. Vol. 24. Issue 12. Pp.1583–1590.

12. Gismeteo. URL: <https://www.gismeteo.ru> (Accessed 04.02.2020).

References

1. Fernández-Marín B*, Hernández A, García-Plazaola JI, Esteban R, Míguez F, Artetxe U, Gómez-Sagasti MT Photoprotective Strategies of Mediterranean Plants in Relation to Morphological Traits and Natural Environmental Pressure: A Meta-Analytical Approach//Spain.Frontiers in Plant Science. 2017. Department of Plant Biology and Ecology. University of the Basque Country (UPV/EHU). pp. 1051–1067. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01074>
2. Lej Y.U.B. *Fiziologicheskie otvetnye reakcii prorostkov pshenicy na zasutu i obluchenie UF-B. Vliyanie nitroprussida natriya* [Physiological responses of wheat seedlings to drought and UV-b irradiation. Effect of sodium nitroprusside]. *Fiziologiya rastenij* [Fiziologiya rastenij]. 2007. Vol. 54. Pp. 736–769.
3. Gurevich A.S. *Hronologicheskie zakonomernosti ontogeneticheskikh izmenenij rosta i fotosinteza Georginy*

Информация об авторах

Воронина О.Е., канд. с.-х. наук, н.с.
E-mail: olgvoron@mail.ru,
Кабанов А.В., канд. биол. наук, ст.н.с.,
E-mail: alex.kabanow@rambler.ru
Мамаева Н.А., канд. биол. наук, ст.н.с.,
E-mail: mamaeva_n@list.ru,
Хохлачева Ю.А., канд. биол. наук, ст.н.с.,
E-mail: jusic-la@yandex.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, Москва
127276, Российская Федерация, г. Москва, Ботаническая ул.,
д. 4

Information about the authors

Voronina O.E., Cand. Sci. Agric., Senior Researcher
E-mail: olgvoron@mail.ru,
Kabanov A.V., Cand. Sci. Biol., Senior Researcher
E-mail: alex.kabanow@rambler.ru
Mamaeva N.A., Cand. Sci. Biol., Senior Researcher
E-mail: mamaeva_n@list.ru,
Khokhlacheva J.A., Cand. Sci. Agric., Senior Researcher
E-mail: jusic-la@yandex.ru
Federal State Budgetary Institution for Science Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS
127276, Russian Federation, Moscow, Botanicheskaja Str., 4

Интродукция и акклиматизация

Г.А. Фирсов

канд. биол. наук, ст.н.с.

E-mail: gennady_firsov@mail.ru

А.В. Волчанская

Магистр

Ботанический сад Петра Великого, ФГБУН

Ботанический институт им. В.Л. Комарова

РАН

Древесные экзоты и аборигены и изменения теплообеспеченности в Санкт-Петербурге

В современных условиях начала 21 в. интродукция древесных растений в Санкт-Петербурге осуществляется на фоне очень заметного потепления климата. При культуре растений в открытом грунте главным фактором отбора здесь, в подзоне южной тайги, были аномально холодные зимы. За период инструментальных метеорологических наблюдений (1752-2018 гг.) можно выделить 19 таких экстремально холодных зим: шесть – в 18 в., десять – в 19 в. и три зимы (1939/40, 1941/42 и 1955/56 гг.) – в 21 в., при рекордно холодной зиме 1941/42 г. с суммой температур за ноябрь-декабрь ... -180°. Многие виды деревьев и кустарников можно было культивировать лишь в промежутке между холодными зимами. Число и повторяемость аномально тёплых зим заметно возросло после зимы 1972/73 г. Во второй половине 20 в. насчитывается 10 таких зим, в 21 в. 8 из 18 зим можно отнести к этой категории. Зимой 2013/14 г. сумма температур за ноябрь-март стала из отрицательной положительной (+11°). Пять лет подряд с 2013 г. – это годы с аномально тёплыми зимами, при том, что зима 2017/18 г. – рекордно тёплая за весь период наблюдений ... +132°. Заметно повысились годовая температура (год 2015 стал самым тёплым в истории ... 7,7°) и минимальная температура воздуха (на основе её выделяются зоны зимней устойчивости древесных растений). Резкое удлинение вегетационного сезона в сочетании с более короткой и мягкой зимой повышает зимостойкость и позволяет выращивать в открытом грунте гораздо большее число теплолюбивых видов. С другой стороны, это способствует распространению болезней и вредителей, накоплению инфекции в почве. В таких условиях очень важными становятся непрерывный мониторинг, накопление и обработка длительных рядов непрерывных фенологических и метеорологических наблюдений. Очевидно, что ботанические сады будут играть всё большую роль в сохранении биоразнообразия.

Ключевые слова: изменения климата, интродукция растения, ботанические сады, Санкт-Петербург.

G.A. Firsov

Cand.Sci. Biol., Senior Research Associate

E-mail: gennady_firsov@mail.ru

A.V. Volchanskaya

master

Peter the Great Botanic Garden of the Komarov

Botanical Institute of the Russian Academy of

Science

Woody exotic and aboriginal species and changes of temperature at Saint-Petersburg

In modern conditions of the beginning of the 21 century the cultivation of woody plants at Saint-Petersburg (North-Western Russia) is carried out in conditions of considerable warming of the climate. Here, at the southern taiga subzone, the abnormally severe winters have always been the main factor of selection for outdoor arboriculture. For the whole period of instrumental meteorological observations (1752-2018) this is possible to develop 19 of abnormally cold winters: six in the 18 century, ten – in the 19 century, and there are 3 such winters (1939/40, 1941/42 and 1955/56) in the 21 century, with unique cold winter of 1941/42 with the sum of temperatures for November-March months ... -180°. This was possible to cultivate many species of trees and shrubs in limits between such cold winters only. The amount and recurrence of abnormally warm winters has considerably arisen since winter 1972/73. There are 10 such warm winters at the second half of the 21 century. And in the 21 century the eight from 18 winters are possible to put into such category. In winter 2013/14 the sum of temperatures for November-March months from negative figures became positive (+11°). And there are 5 years since 2013 which all of them are with abnormally warm winters, with winter 2017/18 being the most warm for the whole period of observations ... +132°. The annual year and the absolute minimum temperatures have considerably arisen (the year 2015 comes to be the warmest one in the history of observations ... 7,7°). The sharp prolongation of vegetative season together with more short and more mild winters promotes to enrich the winter hardiness of plants and let us to cultivate outdoors much more warm loving species. On the other side, this has negative consequences as well, this promotes to distribution of pests and diseases, to accumulation of infection in the soil. In such conditions the uninterrupted monitoring becomes more and more important as well as evaluation and treatment of long rows of the accumulated phenological and meteorological observations. Evidently, the botanic gardens will take more important role in biodiversity conservation in conditions of the changing of the climate.

Keywords: changes of the climate, arboriculture, botanic gardens, Saint-Petersburg.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1080

Интродукция и акклиматизация

Инструментальные наблюдения за логодой в Санкт-Петербурге были организованы почти одновременно с учреждением Академии наук (начало наблюдений относится к 1 декабря 1725 г.). Систематические данные по температуре воздуха имеются с последних месяцев 1751 г. (за исключением четырех лет с 1801 по 1804 гг. и месяцев с ноября по март 1763-1764 гг.). Позже пропуски были восстановлены и весь ряд среднемесячных температур до 2009 г. опубликован В.П. Мелешко с соавторами [1], ряд считается непрерывным с 1752 г. - самый длинный ряд инструментальных метеорологических наблюдений в России. Характер и особенности теплообеспеченности, особенно зимних температур, имеют очень большое, и даже решающее значение для культуры деревьев и кустарников во всей лесной зоне, в том числе на Северо-Западе России и в Санкт-Петербурге. В первые годы существования С.-Петербурга, когда еще не было теории и практики интродукции и акклиматизации растений и не было опыта их выращивания, материал для посадки привозили из стран с более мягким климатом и из южных районов России. Многие из таких привезенных деревьев потом быстро вымерзали. Позже стало ясно, что основным препятствием для разведения древесных растений в открытом грунте является недостаточная устойчивость к местному климату [2, 3]. Особенно опасны очень холодные, критические зимы [4]. Сейчас, учитывая огромный накопленный опыт интродукционной работы, результаты многолетнего собственного мониторинга современной дендроколлекции и многочисленные публикации прошлых лет по уровням адаптированности древесных растений за период интродукции, можно проследить изменчивость температуры воздуха в Санкт-Петербурге и её влияние на растения за очень длительный период времени, на протяжении почти трёх столетий (XVIII-XXI вв.).

Материал и методы

Объектами изучения служили растения коллекции Ботанического сада Петра Великого на Аптекарском острове в Санкт-Петербурге, а также городских садов и парков. Нами проанализировано изменение температуры воздуха по данным метеостанции Санкт-Петербург за 266-летний период 1752-2018 гг., с оценкой возможного влияния этих изменений на древесные растения интродуцированной и местной дендрофлоры. По среднемесячным температурам воздуха подсчитана сумма температур в холодную и тёплую части года. За холодную часть года приняты 5 месяцев с ноября по март, за тёплую часть – 7 месяцев с апреля по октябрь. Использовались результаты собственных наблюдений с начала 1980-х гг. и данные метеостанции Санкт-Петербург государственного учреждения Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями.

Обсуждение результатов

Сумма температур в Санкт-Петербурге в холодную часть года ($n=266$) составляет... $-792^{\circ}\pm20^{\circ}$. Соответственно,

интервал средних по теплообеспеченности зим ($\pm 3S_z$, где S_z – среднеквадратичное отклонение совокупности значений теплообеспеченности) с вероятностью 99% составляет от -732° до -852° . Зимы холоднее -853° попадут в категорию «холодных» (Х), а $\geq -731^{\circ}$ – в категорию «тёплых» (Т). Можно выделить также экстремально холодные зимы (ОХ) с температурой ниже 1,5 S_z (где S_z значение стандартного отклонения совокупности значений теплообеспеченности): $\leq -1287^{\circ}$, и экстремально тёплые (ОТ): $\geq -299^{\circ}$. То же представилось сделать возможным для тёплой части года (условно «лето»). Интервал средних по теплообеспеченности летних периодов ($\pm 3S_z$) при таком же доверительном уровне равен $(2374 \pm 42)^{\circ}$: то есть, от 2332° до 2416° . Соответственно, в категорию холодных (Х) попадают годы с суммой температур $\leq 2331^{\circ}$, а тёплых (Т) ... $\geq 2417^{\circ}$. Таким же образом можно выделить сезоны, когда тёплая часть года была очень холодной (ОХ) – при сумме температур ниже 2023° и очень тёплой (ОХ) – то же, выше 2724° . Самые холодные зимы за весь период наблюдений в Санкт-Петербурге, определённые таким способом, приводятся в таблице 1. Показана и характеристика последующего за этой зимой вегетационного сезона, поскольку это имеет важное значение для древесных растений открытого грунта.

Всего таких экстремально холодных зим насчитывается 19: шесть зим в XVIII веке, десять – в XIX, и три зимы – в XX веке (ни одной – в XXI веке). Из писем Управителя Медицинского сада (так тогда назывался Ботанический сад Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН) Юхана Фалька Карлу Линнею, написанных в 1763-1768 гг. можно узнать, что из сибирских растений, которых много было при прежнем Управителе И. Сигебеке. Фальк почти ничего не застал [5, с. 165]. Как раз на тот промежуток времени (1735-1768 гг.) пришли ряд холодных неблагоприятных зим. Одна из них была столь суровой, что вымерз даже местный клён остролистный. О погоде весной и летом, а также о продолжительности вегетационного периода во времена Фалька можно судить из его письма (12 июля 1765 г.): «Здесь этой весной была жестокая (cruel) погода, с дождем, бурями и холодами, так, что мы до сего числа едва имели 8 дней летней погоды» [5, с. 179]. Из письма Фалька видно, что вегетационный сезон тогда был заметно короче. В сентябре отмечается снег, град и мороз. А в письме от 30 мая 1766 г. Фальк прямо жалуется на суровость климата Санкт-Петербурга: «Вы так благосклонно и милостиво вспомнили мой бедный сад. Приходится сознаться, что он нуждается в тех подаяниях, которые благоволят раздавать добрые податели, а то я сомневаюсь, чтобы он когда-нибудь прогрессировал. Этому есть, конечно, много причин; не хочу их называть, кроме одной – суровости климата. Теперь я полагаю, что в Упсале климат Сар. в. сп. (Мыс Доброй Надежды) по сравнению с петербургским» (там же, с. 183-184). К петербургскому периоду деятельности Фалька относится статья «О здешних деревьях и кустах, которые годны в садах к аллеям и шпалерникам [2]. Фальк обследовал разные сады Санкт-Петербурга, при этом особое внимание уделял зимостойкости растений.

Интродукция и акклиматизация

Таблица 1. Самые холодные зимы в Санкт-Петербурге за период 1752-2018 гг. категории «очень холодных» (ОХ)

Год	Зима		Последующее лето	
	ΣT° месяцы XI-III	Самый холодный месяц	ΣT° месяцы IV-X	Категория
1759/60	-1541	-17.6° (январь)	2040	X
1782/83	-1536	-18.8° (январь)	2459	T
1783/84	-1303	-10.6° (февраль)	2170	X
1788/89	-1631	-18.4° (декабрь)	2618	T
1798/99	-1450	-19.5° (февраль)	2335	H
1799/1800	-1289	-13.3° (февраль)	2089	X
1808/09	-1736	-18.6° (январь)	2087	X
1812/13	-1379	-15.9° (январь)	2387	H
1813/14	-1334	-21.4° (январь)	2233	X
1828/29	-1412	-13.4° февраль	2258	X
1837/38	-1343	-15.8° (январь)	2121	X
1861/62	-1374	-17.3° (январь)	2003	ОХ
1870/71	-1300	-19.5° (февраль)	1799	ОХ
1876/77	-1440	-15.7° (декабрь)	1941	ОХ
1882/83	-1360	-12.8° (январь)	2240	X
1892/93	-1455	-17.1° (февраль)	2125	X
1939/40	-1310	-14.8° (февраль)	2428	T
1941/42	-1800	-18.7° (январь)	2319	X
1955/56	-1362	-15.2° (февраль)	2158	X

учитывая результаты воздействия на них суворой зимы 1759/60 г. Как видно из таблицы 1, эта зима была одной из самых холодных в истории Санкт-Петербурга (сумма температур -1541°) при температуре января 1760 г. -17.6° . Усугубляет ситуацию и то, что последующее лето было холодным. В таких случаях растения часто не успевают подготовиться к следующей зиме и погибают. Приехав в Петербург, Фальк [2, с. 12, 13], к своему удивлению обнаружил, что в садах Петербурга везде преобладает береза. Основная причина была в том, что «немногие другие деревья и кусты здешний жестокой климат так хорошо, как береза, относить могут ... мало из тех кустарников, почитаемых украшением садов в прочей Европе, здесь в студеных провинциях с пользой употреблены быть могут».

Юхан Фальк управлял Медицинским садом 4 года (с 1765 до 1768 г.) и был послан Екатериной II в экспедицию, из которой не вернулся. Через три десятилетия после Фалька, М. М. Тереховский составил «Список всех растений и семян Ботанического сада в 1793 году». Впереди списка на отдельной странице находится рапорт, который показывает, в каком состоянии нашёл он Ботанический сад при вступлении в должность: «Во исполнение присланного ко мне из государственной медицинской коллегии ... указа препровождаю при сем полный список

находящимся в ботаническом саде растениям и семенам. Впрочем доношу государственной медицинской коллегии, что я по вступлении моем в ботанический сад не нашел в нем ни каких семян, а растений весьма мало, поелику оной сад оставался через несколько лет без профессора. и что следовательно все те семена, которые при оном находятся ныне, и о которых я в списке упоминаю, приобретены собственным моим иждивением. 1793 года сентября «... » дня. Тереховский» [5, с. 210]. Таким образом, целый ряд растений, которые были при Фальке, уже отсутствовали при Тереховском. Кроме разнообразных причин выпада из коллекции, включая экономические и отсутствие ухода, основной причиной могло быть вымерзание растений из-за очень холодных зим. Пик похолодания климата во второй половине XVIII века пришёлся на 1780-е годы (три аномально холодных зимы), при том, что январь 1783 г. был одним из самых холодных за весь период наблюдений (-18.8°) и на самый конец столетия (две зимы подряд, 1798/99 и 1799/1800 гг.). Сумма температур зимой 1788/89 г. (-1631°) одна из самых холодных по зимнему выхолаживанию, а декабрь 1788 г. (-18.4°) был самым холодным в истории. Несмотря на суворость петербургского климата тех лет, в XVIII в. в Медицинском саду появились новые древесные экзоты, которые выдерживали этот

Интродукция и акклиматизация

климат (*Caragana arborescens* Lam., *Lonicera tatarica* L., *Spiraea crenata* L.), но их было немного. Дальневосточные и многие широко распространённые в культуре сейчас виды тогда были ещё неизвестны. Одним из первых среди экзотов здесь появился *Amygdalus nana* L., признаваемый устойчивым к климату. В 1793 г. в «Собрании сочинений, выбранных из месяца словов на разные годы», неизвестный автор говорит, что «нашему климату уже усвоены» такие виды, как *Populus alba* L., *Crataegus oxyacantha* L., *Rhododendron dauricum* L. [6, с. 10].

В августе 1809 г. руководство Медицинским садом принял Я.В. Петров. Выделяемых средств явно было недостаточно, и Сад всё более хирел. Этому способствовали и исключительно холодные зимы той поры. В мае 1818 г. Я.В. Петров доложил своему начальству, что прошедшая жестокая зима 1817/18 г. ясно показала, насколько ветхи и ненадёжны оранжереи, которые только истребляют дрова; а если и следующая зима будет такая же, то «невозможно ожидать не только желаемого процветания Сада, но токмо совершенной гибели растений теплых климатов, ко вреду и убытку казенному» [5, с. 280]. Декабрь 1817 г. (-17,4°) был одним из самых холодных (вторым после декабря 1788 г.). Теперь уже не хватало и 400 саженей дров, из-за чего В.В. Петров сообщал, что дело не терпит отлагательства. При этом был представлен список из 130 погибших от холода растений. В начале XIX в. как раз наступил ещё один пик похолодания. Самым холодным годом за всю историю инструментальных наблюдений стал 1809 г. (1,2°), от которого почти не отличался 1810 г. (1,3°). Зима 1808/09 г. стала почти рекордной по зимнему выхолаживанию (-1736°), лишь немного уступая зиме 1941/42 г. А летний период 1810 г. (1681°) оказался самым холодным за весь период наблюдений. Первые 20 лет XIX в. – наиболее сильный из холодных периодов по интенсивности похолодания [7]. В 1809 г. особенно холодной была зима (температура января -18,6°, февраля -13,9°, марта -10,8°), а в 1810 г. – лето (июнь: 11,1°; июль: 14,9°; август: 15,0°). Медицинский сад на Аптекарском острове клонился к упадку и прозябал. Вероятно, усугубил положение дел и климатический фактор. Состояние климата Санкт-Петербурга в начале XIX в. было названо «дыханием ледниковой эпохи» [7]. На древесных растениях недостаток летнего тепла оказывался самым неблагоприятным образом: у них не вызревали побеги, они не успевали подготовиться к зиме и затем сильно обмерзали, и могли после этого погибнуть даже после слабых морозов.

На 1820-е годы, когда в Императорском Санкт-Петербургском ботаническом саду (бывший Медицинский сад) были заложены аллеи, сохранившиеся до настоящего времени, пришла аномально суровая зима 1828/29 г. (-1412°). Из древесных экзотов наиболее устойчивыми к климату Санкт-Петербурга, в этих аллейных посадках оказались виды лиственницы, прежде всего *Larix sibirica* Ledeb., а также *L. dahurica* Laws., *L. decidua* Mill., *L. archangelica* Laws. Сохранились с того времени также отдельные деревья *Quercus robur* L. и *Tilia cordata* Mill., представляющие местную флору.

Прошло ещё несколько лет, и в 1833 г. Общество для поощрения лесного хозяйства, желая удостовериться на опыте, «могут ли некоторые иностранные деревья прозябать в здешнем климате ... выписало саженцы поименованных ниже пород и ... поручило члену своему, директору Императорского Ботанического сада г. Фишеру, посадить оные в сем саду». Через четыре года Ф.Б. Фишер подвёл первые итоги интродукции [3, с. 442]. По результатам своего опыта он распределил растения (65 наименований) на 4 группы. Такие известные сейчас виды, как например, *Abies balsamea* (L.) Mill., *Abies alba* Mill. и *Taxus baccata* L. были отнесены к незимостойким. Пихта бальзамическая оказалась «слабой или от зимних морозов сильно потерпевшей», пихта белая «пропала от зимнего холода», а тисс был отнесен к деревьям «пропавшим в последние две зимы». Следующая после 1837 года зима 1837/38 г. (-1343°) тоже стала аномально суворой, при температуре января -15,8°. И позже, когда Э.Л. Регель [8] подводил итоги интродукции древесных растений и писал свою «Русскую дендрологию», он не нашёл в садах Петербурга ряд видов, упоминаемых Ф.Б. Фишером. Очевидно, они оказались недолговечными.

Через четверть века наступила ещё одна аномально холодная зима – 1861/62 г. В 1833 г. был заложен дендрологический сад Лесного института, второго важнейшего интродукционного центра Санкт-Петербурга. Первые итоги интродукции были подведены Р.И. Шредером [9] «при особенном внимании необыкновенно жестокой зимы 1860–1861 года». Рихард Иванович Шредер переехал в Россию в 1844 г. В течение 6 лет он заведовал некоторыми частными садовыми учреждениями, а в 1850 г. был назначен садовником Санкт-Петербургского лесного и межевого института [10], где проработал до 1862 г. (после этого переехал в Москву). Шредер стал первым указывать размеры древесных растений, сознавая, что это имеет большое значение при их интродукции. Интересны высказывания Р.И. Шредера [9, с. 187–188] о климате и его влиянии на растения: «Климат оказывает различным образом неблагоприятное влияние на растительность. То солнечная теплота у нас слишком кратковременна и незначительна, чтобы побеги могли развиться надлежащим образом, что относится, наприм. ко многим растениям жарких равнин; то зимний холод непосредственно губит растительность, наприм. многие растения, свойственные островам и прибрежьям северо-западной Европы. Наконец, в сложности температура слишком низка почти для всех растений южной Европы, средней Азии и южной части северной Америки. Нужно еще принять в соображение крайняя изменение температуры. Часто вредит деревьям, еще покрытым листвою ранний осенний мороз более, нежели сильный зимний холод; но еще чаще и сильнее терпят они от поздних весенних морозов, особенно когда после продолжительной мягкой погоды наступают внезапные морозы или утренники, сменяющиеся солнечными днями. Так погибла большая часть бальзамических и канадских тополей в Петербурге, после выпавшего снега в сентябре 1846 г., когда температура понизилась немного ниже нуля.

Интродукция и акклиматизация

В 1857 г. месяц март стоял теплый; в апреле стужа поднялась до -18° Р; причем в здешних питомниках вызябли тысячи молодых ильмов, особенно вязов, не говоря уже о других, нежных древесных породах. 1848 г., 2 июня, случился ночной мороз в -2° , отчего погибла листва и молодые побеги; хотя большая часть деревьев дала опять побеги, но эти поздние побеги не достигли зрелости, и многое погибло в следующую зиму, наприм. почти все молодые ясени в здешнем питомнике, особенно же те, что сидели в влажном грунте». Шредер отмечал также важное значение для перезимовки растений местоположения и особенностей почвы, а также важность укрытия на зиму. Он подразделил испытанные им растения на три группы: «Первое отделение содержит породы неприхотливые, зимующие без покрышки. Второе отделение включает более неприхотливые породы, или такия, которые без большого повреждения зимуют с легкой покрышкой. В третьем отделении помещены прихотливые породы, требующие толстой покрышки; но они часто очень сильно повреждаются и обыкновенно недолговечны» [9, с. 191-192]. И наконец, в дополнительный список были помещены «Деревья и кустарники, которые так сильно повреждаются морозами, что не стоит труда сажать их в грунт». Такие зимостойкие сейчас и широко распространенные в культуре виды, как *Acer negundo* L., *Phellodendron amurense* Rupr., *Vitis amurensis* Rupr. у Шредера считались слабо зимостойкими (помещены в третье отделение). Зима 1860/61 г. действительно была холодной (сумма температур -1110°) при температуре января $-17,5^{\circ}$. Однако следующая зима 1861/62 г. стала еще более холодной (сумма температур -1374°). Кроме января ($-17,3^{\circ}$), очень холодным оказался и февраль 1862 г. ($-14,3^{\circ}$).

Эгберт Людвигович Вольф был зачислен главным садовником Императорского Лесного института 4 сентября 1886 г. Какие же изменения произошли в коллекции Лесного института после того, как в 1862 г. ушел Р.И. Шредер и пришел Э.Л. Вольф? На этот счет есть свидетельство самого Вольфа [11, с. 237]: «В 1833 году был заложен «дендрологический сад», с трех сторон окруженный парком участок, сад весьма скромный как по занимаемой площади, так и по числу культивирующихся в нем пород. «Список растений, зимующих в дендрологическом саду С.-Петербургского Лесного Института», напечатанный в начале шестидесятых годов прошлого столетия тогдашним садовником Института Р. Шредером, содержит названия 498 растений. Но это число значительно сократится, если исключить из него синонимы, явно ошибочные названия и благодаря своей чрезвычайной зябкости «поденки». В 1883 г. в саду культивировалось только 451 растение. С 1886 г. натурализации деревянистых растений было уделено более интереса». Не следует забывать, что в этот промежуток времени попала и аномально холодная зима 1870/71 г. (-1300°), когда среднемесячная температура января упала до $-19,5^{\circ}$. И еще две зимы были очень холодными: 1876/77 г. (-1440°) и 1882/83 г. (-1360°). Тем не менее, как видно, значительная часть растений из коллекции Шредера уцелела и вошла составной частью в коллекцию

Вольфа. На начальный период деятельности Э.Л. Вольфа пришла аномально холодная зима 1892/93 г. (температура февраля $-17,1^{\circ}$). Она оказалась и единственной такой холодной за 30-летний период интродукционной работы Э.Л. Вольфа, когда он подвел основные итоги интродукционных испытаний [12]. Этот выдающийся интродуктор испытал наибольшее число видов и форм древесных в истории интродукции растений на Северо-Западе Многие из них не были испытаны никем, кроме Вольфа, и основные представления об адаптированности древесных интродукентов и возможности их культуры здесь долгое время основывались на его данных [13, 14]. Вольф заложил основы современной коллекции Лесотехнической академии, и до сих пор здесь растут редкие деревья, посаженные им: клён манчжурский, сосна веймутова и другие, которые можно отнести к золотому фонду ландшафтной флоры России. Сам Вольф [11, с. 235], подводя основные итоги своей деятельности, писал: «Парк Ленинградского Лесного Института... не может гордиться выдающимися по красоте ландшафтными картинами, но благодаря своему богатому составу, весьма интересен не только для лесовода, но и для специалиста-дendролога». Он отмечал [11, с. 237]: «С 1886 г. по 1918 г. было испытано мною около 3350 пород, из которых приблизительно 1650 можно считать пригодными для разведения под Ленинградом». В начале последней четверти XIX в. начинается медленный и плавный подъем температуры воздуха в Санкт-Петербурге: с $3,7^{\circ}$ в десятилетие 1876-1885 гг. до $4,3^{\circ}$ в 10-летие 1897-1906 гг. [15]. Тёплыми были зимы 1903/04, 1909/10 и еще несколько зим периода интродукционной деятельности Э.Л. Вольфа. В 1920-х гг., характер зим еще более изменился, они стали более теплыми, с частыми оттепелями, поздним ледоставом и неустойчивым ледяным покровом. Заметен подъем среднегодовой температуры воздуха до максимума $5,4^{\circ}$ в 10-летие 1930-1939 гг. Это совпало с глобальным потеплением климата в северном полушарии [16]. Известное «потепление Арктики», которое началось в конце XIX в., достигло максимума в конце 30-х гг. XX столетия и, наряду с прочими районами, захватило Санкт-Петербург. Климат после потепления 1930-х гг. климатологами второй половины XX в. рассматривался как «современный».

На конец 1930-х гг. пришла аномально холодная зима 1939/40 г. (-1310°), когда в Санкт-Петербурге зафиксирован абсолютный минимум температуры воздуха (17 января 1940 г.: $-35,6^{\circ}$). Среднесуточная температура в тот день достигла очень низкой отметки $-32,5^{\circ}$. Неблагоприятные последствия той зимы для древесных растений отмечены в литературе [17, 18]. Как писал В.В. Уханов [17, с. 76], «Зима 1939/40 г. была исключительно холодной, что отмечено для большей половины Европейской части СССР и Западной Европы. Поэтому вполне естествен интерес к результатам влияния этой зимы на древесные растения». Летом 1940 г. он обследовал городские и пригородные зеленые насаждения и выявил результаты перезимовки всех произрастающих там видов хвойных в количестве многих сотен деревьев. Из них около половины имели те или иные повреждения. Наиболее часто наблюдались повреждения

Интродукция и акклиматизация

Таблица 2. Самые тёплые зимы в Санкт-Петербурге за период 1752-2018 гг. категории «очень тёплых» (ОТ)

Год	Зима		Последующее лето	
	ΣT° месяцев XI-III	Самый холодный месяц	ΣT° месяцев IV-X	Категория
1821/22	-231	-6.2° (январь)	2367	Н
1924/25	-217	-4.6° (март)	2438	Т
1929/30	-172	-6.5° (февраль)	2505	Т
1948/49	-252	-2.9° (февраль)	2538	Т
1960/61	-170	-3.4° (январь)	2573	Т
1972/73	-266	-5.3° (январь)	2490	Т
1974/75	-106	-4.8° (февраль)	2703	Т
1982/83	-291	-8.6° (февраль)	2768	ОТ
1988/89	-222	-6.2° (декабрь)	2838	ОТ
1989/90	-213	-5.4° (январь)	2467	Т
1991/92	-48	-2.7° (январь, февраль)	2468	Т
1992/93	-256	-2.6° (февраль)	2276	Х
1994/95	-221	-4.1° (январь)	2729	ОТ
1999/2000	-271	-4.4° (январь)	2685	Т
2006/07	-128	-10.6° (февраль)	2797	ОТ
2007/08	-45	-1.8° (январь)	2649	Т
2008/09	-190	-3.9° (февраль)	2596	Т
2013/14	+11	-7.0° (январь)	2854	ОТ
2014/15	-27	-2.7° (январь)	2678	Т
2015/16	-158	-11.2° (январь)	2801	ОТ
2016/17	-270	-3.9° (январь)	2383	Н
2017/18	+132	-3.2° (декабрь)	3035	ОТ

хвои и почек, которые в вегетационный сезон 1940 г. не дали побегов. Через 2 года после этого случилась рекордно холодная блокадная зима 1941/42 г. с суммой зимних температур -1800°, и последующее лето тоже было холодным. Наблюдений за растениями не проводилось, но многие растения, погибшие в годы Великой Отечественной войны [18 и др.], очевидно, вымерзли как раз в эту зиму.

Последняя аномально суровая зима, выделенная по такому критерию, была зима 1955/56 г. (-1362°), при температуре февраля -15.2°. Последствия этой зимы для растений отмечены в литературе [19, 20]. Продолжительной зиме 1955/56 г. предшествовало холодное лето, все весенне-летние феноэстапы года шли с опозданием. Апрель 1955 г. был единственным во второй половине столетия с отрицательной температурой (-0.8°), в XX веке было всего 4 таких случая. Переход к зиме (15 ноября) был довольно резким. А уже в декабре среднемесечная температура составила -14.0° (самый холодный декабрь в XX веке). Очень холодным был и февраль. Абсолютный минимум

температуры воздуха 6 февраля 1956 г. (-35.2°) лишь немного меньше рекорда за весь период наблюдений (зимой 1939/40 г.). По числу дней со среднесуточной температурой ниже -20° в двадцатом столетии её превосходит лишь зима 1941/42 г.

В начале 1970-х гг. Н.Е. Булыгин, обрабатывая вековые фенологические ряды феностационара Лесотехнической академии, обратил внимание на тенденцию к потеплению климата Санкт-Петербурга [21]. Во второй половине XX в. здесь участились тёплые зимы с длительными оттепелями. Возрастание скорости изменения температуры воздуха отмечают В.П. Мелешко, А.В. Мещерская и Е.И. Хлебникова [1, с. 45]: «Так, скорость изменения средней годовой температуры воздуха увеличилась от 0.08 °C в 1752-2007 гг. до 0.56 °C в 1979-2008 гг., а зимней температуры воздуха – от 0.14 до 1.17 °C за 10 лет ... Более быстрое потепление климата начиная с середины 70-х годов в России и в Северном полушарии отмечается в ряде работ». Заметное потепление началось с начала лета 1988 г..

Интродукция и акклиматизация

намного теплее нормы были май, июнь и июль. Год 1989 оказался самым теплым в истории Санкт-Петербурга (7,6°) на тот момент времени (позже его превзошёл год 2015). Реакции древесных растений на метеорологические и фенологические аномалии 1989 и 1990 гг. посвящено исследование В.Н. Комаровой и Г.А. Фирсова [22]. Подтвердился один из выводов, сделанных тогда: то, что в ХХ в. было аномалией, в условиях современного климата начала ХХI в. становится нормой.

Представляет интерес проследить, какие же зимы в Санкт-Петербурге были самыми тёплыми (таблица 2). В XVIII столетии таких зим не было. В XIX в. – только одна зима 1821/22 г. (-231°), при самом холодном месяце ... -6,2° (январь). В первой половине ХХ в. к очень тёплым можно отнести три зимы: 1924/25 (-217°), 1929/30 (-172°) и 1948/49 гг. (-252°), во всех случаях за ними следовал тёплый летний период. Прошло ещё 12 лет. Зима 1960/61 г. (сумма температур за ноябрь – март ... -170°) оказалась очень необычной на фоне биоклиматической ситуации тех лет и заострила на себе внимание дендрологов [23]. Заметно усилилась череда аномально тёплых зим после зимы 1972/73 г. Во второй половине ХХ в. насчитывалось 10 таких зим. И наконец, из 18 лет ХХI столетия 8 лет (то есть, почти половину), – можно отнести к этой категории. Потепление усилилось после зимы 2006/07 г. [24]. В литературе отмечалось неоднократно [25 и др.], что многие тепло любивые виды можно было выращивать в открытом грунте в Санкт-Петербурге в годы с благоприятной биоклиматической ситуацией, и они могли даже цветти и плодоносить после тёплых зим. Затем такие теплолюбивые экзоты (например, *Acer palmatum* Thunb.) погибали в очередную холодную зиму, и делались новые, неоднократные попытки их культуры.

Таким образом, по соотношению аномально холодных и аномально тёплых зим видно, что данный ряд 1752-2018 гг. – неоднородный. Большая часть холодных зим имела место в начале и первой половине ряда и совсем отсутствуют в конце. А большинство зим с высокой теплообеспеченностью – в конце ряда. Можно видеть, как резко идёт потепление в последние годы. Зимой 2013/14 г. сумма температур за ноябрь–март стала из отрицательной положительной (+11°). Пять лет подряд с 2013 г. – годы с аномально тёплыми зимами, при том, что зима 2017/18 г. – рекордно тёплая за весь период наблюдений ... +132°). И за ней последовало очень тёплое лето с рекордно высокой суммой температур.

В последние годы март пока что ещё остаётся зимним месяцем с отрицательной температурой, но уже близкой к нулю. Наблюдается тенденция к увеличению температур во второй половине года. До конца календарного года зима в отдельные годы так и не наступает – отсутствует снежный покров, а некоторые растения продолжают вегетацию. Очевидна тенденция к повышению теплообеспеченности и при сравнении среднегодовой температуры воздуха. Она повысилась на 2,5° по отношению к норме климата ХХ столетия. А в 2013-2015 и 2018 гг. годовая температура достигла и перешла рубеж 7°. Заметно потеплела

и минимальная температура воздуха. В целом такие условия можно считать благоприятными для перезимовки древесных растений. Эффект потепления климата воспринимается до сих пор в подавляющем большинстве случаев как полезный. Поскольку возрастание температур позволяет выращивать в открытом грунте гораздо большее число теплолюбивых видов. Резкое удлинение вегетационного сезона в сочетании с более короткой и мягкой зимой повышает их зимостойкость. С другой стороны, это способствует распространению болезней и вредителей, накоплению инфекции в почве. В Ботаническом саду Петра Великого Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН усыхание деревьев вяза (*Ulmus* L.) отмечено с начала 1990-х гг., сразу после начала заметного потепления климата Санкт-Петербурга. По состоянию на 2017 г. засохли и удалены около 400 деревьев, относящиеся к 12 видам и формам [26]. С 2011 г. здесь обнаружены несколько видов фитофторы и стало наблюдаться усыхание деревьев и кустарников [27, 28]. Более заметно стало распространение хермеса на хвойных [29]. В условиях меняющегося климата и прогрессирующего его потепления меняются границы агроклиматических районов и зон зимней устойчивости древесных растений [30].

В условиях потепления и изменения климата ещё не до конца изучены отдельные факторы, влияющие на рост, развитие и продолжительность жизни древесных растений. Например, 1 октября 2019 г. при сильных порывах ветра в парке БИН РАН было повалено несколько старых и ценных исторических деревьев (*Acer saccharinum* L. 'Wieri' и другие). Важно проверить, меняется ли и как циркуляция атмосферы, скорость и направление ветра на протяжении последних десятилетий. Летом 2010 г. мы столкнулись с таким явлением, как «блокирующий антициклон», когда в условиях аномально жаркой погоды (среднемесячная температура июля ... 24,4° – рекорд за весь период наблюдений) и при длительной засухе важными факторами стали жаростойкость и засухоустойчивость растений, что совсем не свойственно для Ботанического сада БИН РАН. В таких условиях очень важными становится непрерывный мониторинг, накопление и обработка длительных рядов непрерывных фенологических и метеорологических наблюдений.

Работа выполнена в рамках государственного задания по плановой теме «Коллекции живых растений Ботанического института им. В.Л. Комарова (история, современное состояние, перспективы использования)», номер AAAA-A18-118032890141 – 4.

Список литературы

1. Мелешко В.П., Мещерская А.В., Хлебникова Е.И. (ред.). Климат Санкт-Петербурга и его изменения. СПб.: Гос. учреждение «Главная геофиз. обсерватория им. А.И. Войкова». 2010. 256 с.
2. Фальк И.П. О здешних деревьях и кустах, которые годны в садах к аллеям и шпалерникам // Тр. Вольного

Интродукция и акклиматизация

- эконом. о-ва к поощрению в России земледелия и домостроительства. Ч. 2. СПб., 1766. С. 11–32.
3. Фишер Ф.Б. Опыт разведения иностранных дерев // Лесной журнал. СПб., 1837. Ч. 3. Кн. 3. С. 442–445.
4. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Критические зимы в Санкт-Петербурге и их влияние на интродуцированную и местную дендрофлору // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 188. СПб. 2009 а. С. 100–110.
5. Липский В.И. Императорский С.-Петербургский Ботанический сад за 200 лет его существования (1713–1913). Ч. 1. СПб., 1913. 412 с.
6. Данилов Е.А., Борткевич В.М. К истории акклиматизации и натурализации древесных пород в России // Тр. по прикладной ботанике и селекции. Т. 14. Вып. 4. Л., 1925. С. 1–29.
7. Покровская Т.В., Бычкова А.Т. Климат Ленинграда и его окрестностей. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 200 с.
8. Регель Э.Л. Русская дендрология, или перечисление и описание древесных пород и многолетних вьющихся растений, выносящих климат средней России на воздухе, их разведение, достоинство, употребление в садах, в технике и пр. СПб., 1870–1882. Вып. 1–6. 542 с.
9. Шредер Р.И. Наблюдения над разводимыми в С.-Петербургском лесном институте деревьями и кустарниками, относительно их неприхотливости при особенном внимании необыкновенно жестокой зимы 1860–1861 г. // Акклиматизация. СПб. 1861. Т. 26. Вып. 9. С. 181–458.
10. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Биоклиматическая ситуация в период интродукционной деятельности Р.И. Шредера в Санкт-Петербурге в Императорском Лесном Институте // Известия СПбЛТА. Вып. 190. 2010. С. 63–72.
11. Вольф Э.Л. Парк и арборетум Лесного института // Изв. Ленингр. Лесн. ин-та. 1929. Вып. 37. С. 235–268.
12. Вольф Э.Л. Наблюдения над морозостойкостью деревянистых растений // Тр. бюро по прикл. ботан. 1917. Т. 10. № 1. С. 1–146.
13. Булыгин Н.Е., Фирсов Г.А. Выдающийся дендролого-интродукционный эксперимент в Санкт-Петербурге. СПб.: ЛТА. 1994. 142 с. Деп. в ВИНИТИ, № 1779-В 94 Деп.
14. Булыгин Н.Е., Фирсов Г.А. Современная интерпретация материалов Э.Л. Вольфа по интродуцированной дендрофлоре Санкт-Петербурга. СПб.: ЛТА. 1994. 57 с. Деп. в ВИНИТИ, № 1750 – В 94 Деп.
15. Фирсов Г.А. Древесные растения ботанического сада Петра Великого (XVIII–XXI вв.) и климат Санкт-Петербурга // Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию основания Ботанического института им. В.Л. Комарова Российской академии наук): тр. междунауч. конф. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. С. 208–215.
16. Швер Ц.А., Алтыкис Е.В., Евтеева Л.С. (ред.). Климат Ленинграда. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 252 с.
17. Уханов В.В. Результаты перезимовки хвойных деревьев и кустарников в зиму 1939/40 г. в районе г. Ленинграда // Тр. Ботан. ин-та им. В.Л. Комарова АН СССР. 1952. Сер. 6. Вып. 2. С. 76–93.
18. Андронов Н.М. О зимостойкости деревьев и кустарников в Ленинграде // Тр. Ботан. ин-та им. В.Л. Комарова АН СССР. 1953. Сер. 6. Вып. 3. С. 165–220.
19. Андронов Н.М. Влияние зимы 1955–56 гг. на древесные растения в Ленинграде // Тр. ЛТА им. С.М. Кирова. Вып. 81. Ч. 2. 1957. С. 61–70.
20. Фирсов Г.А., И.В. Фадеева И.В. Влияние суворых зим XX века на интродуцированную и аборигенную дендрофлору Санкт-Петербурга на примере хвойных пород // Научное обозрение. № 2. 2009 б. С. 3–13.
21. Булыгин Н.Е., Довгулевич З.Н. Некоторые результаты математического анализа вековых фенологических рядов // Межвуз. сб. законч. науч. исслед. работ. Вып. 2. Л.: ЛТА. 1974. С. 36–40.
22. Комарова В.Н., Фирсов Г.А. Реакция древесных растений Санкт-Петербурга на метеоаномалии 1989 и 1990 гг. // Бюлл. Глав. ботан. сада. Вып. 172. 1995. С. 8–10.
23. Булыгин Н.Е. Влияние температурных условий начала зимы 1960–1961 гг. на древесные растения в Ленинграде // Материалы по фенологии. Вып. 2. Л.: Географ. общ-во СССР. 1961. С. 16–19.
24. Фирсов Г.А., Фадеева И.В., Волчанская А.В. Влияние метео-фенологической аномалии зимы 2006/07 года на древесные растения в Санкт-Петербурге // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 6. 2008. С. 22–27.
25. Связева О.А. Деревья, кустарники и лианы парка Ботанического сада Ботанического института им. В.Л. Комарова (К истории введения в культуру). СПб.: Росток, 2005. 384 с.
26. Фирсов Г.А., Булгаков Т.С. Состояние вязов (*Ulmus* L., *Ulmaceae*) в парке-дендрарии Ботанического сада Петра Великого в 2016 году // Вестник Воронежского университета. Серия: Химия, биология, фармация. 2018. № 3. С. 129–135.
27. Фирсов Г. А., Малышева В. Ф., Малышева Е. Ф., Варфоломеева Е. А., Волчанская А. В. Новые данные о распространении видов рода *Phyllophthora* и их влиянии на состояние древесных растений в Ботаническом саду Петра Великого (БИН РАН, Санкт-Петербург) // Микология и фитопатология. 2016. Т. 50. Вып. 6. С. 401–414.
28. Фирсов Г.А., Варфоломеева Е.А., Волчанская А.В. Древесные растения парка-дендрария и восьмилетний (2011–2018 гг.) мониторинг фитофторы в ботаническом саду Петра Великого // Бюллетень Главного ботанического сада. № 2 (Выпуск 205). 2019. С. 32–41.
29. Фирсов Г.А., Варфоломеева Е.А., Хмарик А.Г. Хвойные растения, поражаемые семейством хермесовые (*Adelgidae*), и меры борьбы с его представителями в Санкт-Петербурге // Вестник Удмуртского Университета. Сер. Биология. Науки о Земле. Т. 27. 2017. Вып. 4. С. 473–480.
30. Фирсов Г.А., Хмарик А.Г. Смещение зон зимней устойчивости древесных растений на Северо-Западе России в условиях потепления климата // Вестник Удмуртского ун-та. Серия Биология. Науки о Земле. 2016. Т. 26. Вып. 3. С. 58–65.

Интродукция и акклиматизация

References

1. Meleshko V.P., Mescherskaya A.V., Hlebnikova E.I. (eds.). Klimat Sankt-Peterburga i ego izmenenija [Climate of Saint-Petersburg and its changes]. SPb.: Gos. uchrezhdenie "Glavnaya geofiz. observatoriya im. A.I. Voejkova". 2010. 256 p.
2. Falk I.P. O zdesnih derevjah i kustah, kotorie godni k allejam i shpalernikam [About local trees and shrubs which are capable to alleys and hedges] // Tr. Volnogo ecomon. obshchestva k pooschreniju v Rossii zemledelija i domostroitelstva. Part 2. SPb. 1766. Pp. 11–32.
3. Fischer F. Opit razvedenija inostrannih derev [Experience of cultivation of exotic trees] // Lesnoj Journ. Part 3, book 3. SPb. 1837. Pp. 442–445.
4. Firsov G.A., Fadeeva I.V. Kriticheskie zimy v Sankt-Peterburge i ikh vliyanie na introdutsirovannuyu i mestnyu dendrofloru [Critical winters in St. Petersburg and their impact on introduced and local dendroflora] // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. Part. 188. SPb. 2009 a. Pp. 100–110.
5. Lipskiy V.I. Imperatorskiy S.-Peterburgskiy Botanicheskiy sad za 200 let ego sushchestvovaniya (1713–1913). [Imperial St. Petersburg Botanical Garden for 200 years of its existence (1713–1913).] Ch. 1. SPb., 1913. 412 p.
6. Danilov Ye.A., Bortkevich V.M. K istorii akklimatizatsii i naturalizatsii drevesnykh porod v Rossii [To the history of acclimatization and naturalization of tree species in Russia] // Trudy po prikladnoy botanike i selektsii. V. 14. Part. 4. L., 1925. Pp. 1–29.
7. Pokrovskaya T.V., Bychkova A.T. Klimat Leningrada i ego okrestnostey [The climate of Leningrad and its environs]. L.: Gidrometeoizdat, 1967. 200 p.
8. Regel E.L. Russkaya dendrologiya, ili perechislenie i opisanie drevesnykh porod i mnogoletnikh vyushchikh sraseni, vynosyashchikh klimat sredney Rossii na vozdukhe, ikh razvedenie, dostoinstvo, upotreblenie v sadakh, v tekhnike i pr. [Russian dendrology, or listing and description of tree species and perennial climbing plants that tolerate the climate of central Russia in the air, their cultivation, dignity, use in gardens, in technology, etc.] SPb., 1870–1882. Part 1–6. 542 p.
9. Schroeder R.I. Nabludenija nad razvodimimi v S.-Peterburgskom lesnom institute derevami i kustarnikami otnositelno ih neprihotlivosti pri osobennom vnimanii neobiknoveno zhhestokoj zimi 1860–1861 g. [Observations at cultivated in St.-Petersburg Forest Institute trees and shrubs on their hardiness, with special attention to abnormally severe winter 1860–1861] // Akklimatizacija. SPb. 1861. Vol. 2b. Issue. 9. Pp. 181–458.
10. Firsov G.A., Fadeeva I.V. Bioklimaticeskaya situatsiya v period introdukcionnoy deyatelnosti R. I. Shredera v Sankt-Peterburge v Imperatorskom Lesnom Institute [Bioclimatic situation during the introduction of R. I. Schroeder in St. Petersburg at the Imperial Forest Institute] // Izvestiya SPbLTA. Part 190. 2010. Pp. 63–72.
11. Volf E.L. Park i arboretum Lesnogo instituta [Forest Institute Park and Arboretum] // Izv. Leningr. Lesn. in-ta. 1929. Part 37. Pp. 235–268.
12. Wolf E.L. Nabludenija nad morozoustojchivostju derevjanistih rastenij [Observations on frost hardiness of woody plants] // Tr. Bjuro po prikladnoy botanike. Petrograd. 1917. Vol. 10. N 1. 146 p.
13. Bulygin N.Ye., Firsov G.A. Vydayushchiysya dendrologo-introdukcionnyy eksperiment v Sankt-Peterburge. [An outstanding dendrol-introduction experiment in St. Petersburg.] SPb.: LTA. 1994. 142 p. Dep. v VINITI, № 1779-V 94 Dep.
14. Bulygin N.Ye., Firsov G.A. Sovremennaya interpretatsiya materialov E.L. Wolfa po introdutsirovannoy dendroflore Sankt-Peterburga. [Modern interpretation of materials E.L. Wolf according to the introduced dendroflora of St. Petersburg] SPb.: LTA. 1994. 57 p. Dep. v VINITI, № 1750 – V 94 Dep.
15. Firsov G.A. Drevesnye rasteniya botanicheskogo sada Petra Velikogo (XVIII–XXI vv.) i klimat Sankt-Peterburga [Woody plants of the Peter the Great Botanical Garden (XVIII–XXI centuries) and the climate of St. Petersburg // Botany: history, theory, practice (on the 300th anniversary of the founding of the V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences)] // Botanika: istoriya, teoriya, praktika (k 300-letiju osnovaniya Botanicheskogo instituta im. V.L. Komarova Rossiyskoy akademii nauk): trudy mezhd. nauch. konf. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LETI». 2014. Pp. 208–215.
16. Shver Ts.A., Altykis Ye.V., Yevteeva L.S. (red.). Klimat Leningrada [Climate of Leningrad]. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 252 p.
17. Ukhanov V.V. Rezulaty perezimovki khvoynykh derev i kustarnikov v zimu 1939/40 g. v rayone g. Leningrada [The results of wintering of conifers and shrubs in the winter of 1939/40 in the region of Leningrad] // Tr. Botan. in-ta im. V.L. Komarova AN SSSR. 1952. Ser. 6. Part 2. Pp. 76–93.
18. Andronov N.M. O zimostoykosti derev i kustarnikov v Leningrade [On the winter hardness of trees and shrubs in Leningrad] // Trudy Botan. in-ta im. V.L. Komarova AN SSSR. 1953. Ser. 6. Part 3. Pp. 165–220.
19. Andronov N.M. Vliyanie zimy 1955–56 gg. na drevesnye rasteniya v Leningrade [The influence of winter 1955–56 on woody plants in Leningrad] // Trudy LTA im. S.M. Kirova. Part 81. Ch. 2. 1957. Pp. 61–70.
20. Firsov G.A., I.V. Fadeeva I.V. Vliyanie surovyykh zim XX veka na introdutsirovannuyu i aborigennuyu dendrofloru Sankt-Peterburga na primere khvoynykh porod [The impact of the harsh winters of the XX century on the introduced and native dendroflora of St. Petersburg on the example of conifers] // Nauchnoe obozrenie. № 2. 2009 b. Pp. 3–13.
21. Bulygin N.Ye., Dovgulevich Z.N. Nekotorye rezulaty matematicheskogo analiza vekovykh fenologicheskikh ryadov [Some results of mathematical analysis of secular phenological series] // Mezhvuz. sb. zakonch. nauch. issled. rabot. Issue 2. L.: LTA. 1974. Pp. 36–40.
22. Komarova V.N., Firsov G.A. Reaktsiya drevesnykh rastenij Sankt-Peterburga na meteoanomalii 1989 i 1990 gg. [The reaction of woody plants of St. Petersburg to meteorological anomalies of 1989 and 1990.] // Byull. Glav. botan. sada. Part 172. 1995. Pp. 8–10.

Интродукция и акклиматизация

23. Bulygin N.Ye. Vliyanie temperaturnykh usloviy nachala zimy 1960-1961 gg. na drevesnye rasteniya v Leningrade [The influence of temperature conditions at the beginning of winter 1960-1961 on woody plants in Leningrad]// Materiały po fenologii. Part 2. L.: Geograf. obshch-vo SSSR. 1961. Pp. 16-19
24. Firsov G.A., Fadeeva I.V., Volchanskaya A.V. Vliyanie meteo-fenologicheskoy anomalii zimy 2006/07 goda na drevesnye rasteniya v Sankt-Peterburge [The impact of the meteorological phenological anomaly of winter 2006/07 on woody plants in St. Petersburg]// Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik. № 6. 2008. Pp. 22-27.
25. Svyazeva O.A. Derevya, kustarniki i liany parka Botanicheskogo sada Botanicheskogo instituta im. V.L. Komarova (K istorii vvedeniya v kulturu) [Trees, shrubs and creepers of the park of the Botanical Garden of the Botanical Institute. V.L. Komarova (History of Introduction to Culture).]. SPb.: Rostok, 2005. 384 p.
26. Firsov G.A., Bulgakov T.S. Sostoyanie vyazov (*Ulmus* L., *Ulmaceae*) v parke-dendrarii Botanicheskogo sada Petra Velikogo v 2016 godu [The state of elms (*Ulmus* L., *Ulmaceae*) in the arboretum of the Peter the Great Botanical Garden in 2016] // Vestnik Voronezhskogo universiteta. Seriya: Khimiya, biologiya, farmatsiya. 2018. № 3. Pp. 129–135.
27. Firsov G.A., Malysheva V.F., Malysheva Ye.F., Varfolomeeva Ye.A., Volchanskaya A.V. Novye dannye o rasprostranenii vidov roda *Phytophthora* i ikh vliyanii na sostoyanie drevesnykh rasteniy v Botanicheskem sadu Petra Velikogo (BIN RAN, Sankt-Peterburg) [New data on the distribution of species of the genus *Phytophthora* and their influence on the state of woody plants in the Botanical Garden of Peter the Great (BIN RAS, St. Petersburg)]// Mikrobiologiya i fitopatologiya. 2016. T. 50. Part 6. Pp. 401–414.
28. Firsov G.A., Varfolomeeva Ye.A., Volchanskaya A.V. Drevesnye rasteniya parka-dendrariya i vosmiletney (2011-2018 gg.) monitoring fitofitory v botanicheskem sadu Petra Velikogo [Arboreal plants of the arboretum park and eight-year (2011-2018) monitoring of late blight in the botanical garden of Peter the Great]// Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada. № 2 (Part 205). 2019. Pp. 32–41.
29. Firsov G.A., Varfolomeeva Ye.A., Khmarik A.G. Khvoynye rasteniya, porazhaemye semeystvom khermesovye (Adelgidae), i mery borby s ego predstaviteleyami v Sankt-Peterburge [Conifers affected by the hermes family (Adelgidae), and measures to combat its representatives in St. Petersburg] // Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle. T. 27. 2017. Part 4. Pp. 473–480.
30. Firsov G.A., Khmarik A.G. Smeshchenie zon zimney ustoychivosti drevesnykh rasteniy na Severo-Zapade Rossii v usloviyakh potepleniya klimata [The shift of zones of winter resistance of woody plants in the North-West of Russia under conditions of climate warming] // Vestnik Udmurtskogo unta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. 2016. Vol. 26. Part 3. Pp. 58–65.

Информация об авторах

Фирсов Геннадий Афанасьевич, канд. биол. наук, ст. н. с.
E-mail: gennady_firsov@mail.ru
Волчанская Александра Владимировна, магистр
Ботанический сад Петра Великого; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук
197376, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 2

Information about the authors

Firsov Gennadiy Afanasievich, Cand. Sci. Biology, Senior Researcher
E-mail: gennady_firsov@mail.ru
Volchanskaya Alexandra Vladimirovna, master
Peter the Great Botanic Garden of the Federal State Budgetary Institution for Science Kornarov Botanical Institute of the Russian Academy of Science
197376, Russian Federation, Saint-Petersburg, Prof. Popov Str., 2

Анатомия, морфология

Ю.К. Виноградова

д-р биол. наук, гл. н. с.

ФГБУН Главный ботанический сад

им. Н. В. Цицина РАН

Москва, Российская Федерация

E-mail: gbsad@mail.ru

Строение устьичного аппарата у видов рода *Impatiens*

Цель исследования – сравнение морфометрических признаков устьичного аппаратаaborигенного (*Impatiens noli-tangere* L.) и инвазионных (*I. parviflora* DC. и *I. glandulifera* Royle) видов рода *Impatiens* для оценки конкурентной способности этих трех близкородственных таксонов. Приведены оригинальные сведения по признакам устьичного аппарата изученных видов (21 количественный признак). Морфометрические признаки измеряли с помощью цифрового микроскопа Keyence VHX-1000E. Уaborигенного вида *I. noli-tangere* листья гипостоматические. У обоих чужеродных инвазионных видов листья амфистоматические, но на верхней стороне листа число устьиц существенно меньше, чем на нижней, иногда они даже единичны. Аборигенный *I. noli-tangere* имеет самые мелкие устьица (204 мкм^2) и наименьшую общую площадь транспирации (815 мкм^2). Чужеродные инвазионные виды по этим показателям превосходят аборигенный: *I. glandulifera* имеет устьица со средней площадью 277 мкм^2 и общую площадь транспирации 1348 мкм^2 , у *I. parviflora* средняя площадь одного устьица варьирует от $305,0$ до 476 мкм^2 и общая площадь транспирации – от 1006 до 1714 мкм^2 . Таким образом, площадь транспирации инвазионных чужеродных видов в 1,5-2 раза выше, чем площадь транспирации аборигенного *I. noli-tangere*. Выдвинута гипотеза, что площадь транспирации может служить дополнительным показателем конкурентного превосходства чужеродных инвазионных видов над аборигенными.

Ключевые слова: *Impatiens*, устьица, чужеродные виды растений, инвазия, транспирация.

Yu. K. Vinogradova

Dr. Sci. Biol., Chief Researcher

Federal State Budgetary Institution for Science

Tsitsin Main Botanical Garden,

Russian Academy of Sciences

Moscow, Russian Federation

E-mail: gbsad@mail.ru

Structure of the stomatal apparatus of *Impatiens* species

The aim of the study is to compare morphometric characters of stomatal apparatus of native (*Impatiens noli-tangere* L.) and invasive (*I. parviflora* DC. and *I. glandulifera* Royle) species of *Impatiens* to estimate competitive ability of these three closely related taxa. Original information on the traits of stomatal apparatus of the studied species (21 quantitative traits) is given. Morphometric characters were measured using a Keyence VHX-1000E digital microscope. In the native *I. noli-tangere*, the leaves are hypostomate. In both alien invasive species, leaves are amphistomatic, but the number of stomata on the upper side of the leaf is significantly lower than on the lower side. The native *I. noli-tangere* has the smallest stomata ($204 \mu\text{m}^2$) and the smallest total transpiration area ($815 \mu\text{m}^2$). Alien Invasive species are superior to native species by these indices: *I. glandulifera* has stomata with an average area of $277 \mu\text{m}^2$ and total transpiration area of $1348 \mu\text{m}^2$, in *I. parviflora* the average area per stomata varies from $305,0$ to $476 \mu\text{m}^2$ and total transpiration area from 1006 to $1714 \mu\text{m}^2$. Thus, the transpiration area of invasive alien species is 1.5-2.0 times higher than that of native *I. noli-tangere*. It is hypothesized that the transpiration area can serve as an additional indicator of competitive superiority of alien invasive species over native plant species.

Keywords: *Impatiens*, stoma, alien plant species, invasion, transpiration.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1081

Введение

Устьица выполняют в листьях роль газообмена и значительно различаются по размерам и численности [1]. Число устьиц может варьировать как в пределах листа, так и в пределах отдельных особей одного вида [2]. Оно также может изменяться под влиянием факторов окружающей среды: света, влажности воздуха, влагообеспеченности и концентрации CO_2 в атмосфере [3]. Известно, что по морфо-анатомическому состоянию листьев можно

оценить адаптационные возможности растений [4-6]. Например, небольшое число устьиц и их малый размер приводят к постоянному их открытию и чрезмерной транспирации, что может свидетельствовать о низкой приспособленности растений к условиям освещенности и влажности.

У амфистоматических листьев численность устьиц обычно больше на нижней поверхности листа, чем на верхней, а отношение численности устьиц на верхней стороне листа к общей численности устьиц имеет тенденцию

Анатомия, морфология

к снижению с уменьшением солнечной радиации [7]. У древесных растений плотность устьиц может колебаться от 30 до 1190 шт. на мм^2 , а длина устьица – от 10 до 50 мкм, и часто наблюдается отрицательная корреляция между плотностью и размером устьиц [8].

Наша предыдущая работа по сравнению параметров устьичного аппарата видов рода *Solidago* L. показала наличие у растений различных стратегий увеличения общей транспирационной площади [9]. На клеточном уровне это проявляется в увеличении размеров устьиц (*S. sempervirens*, *S. altissima*, *S. juncea*) и повышении численности устьиц (*S. altissima*) вплоть до формирования гипостоматических листьев (*S. lepida*, *S. graminifolia*). На организменном уровне стратегия чужеродных видов заключается либо в увеличении площади листовой пластиинки, что особенно характерно для розеточных листьев (*S. sempervirens*, *S. juncea*, *S. uliginosa*), либо в увеличении числа листьев на побеге (*S. lepida*), либо в увеличении числа побегов (*S. serotinoides*, *S. graminifolia*).

В другом исследовании, посвященном видам рода *Sympyotrichum*, отмечено, что наиболее адаптированные инвазионные виды обладают наибольшей относительной площадью транспирации (12–14% у *S. novae-angliae*, *S. novi-belgii* и *S. × salignum*), тогда как у недичающих чужеродных видов этот показатель составлял менее 2% (*S. chilense*, *S. cordifolium* и *S. tridescantii*). Выдвинута гипотеза, что высокое значение индекса относительной площади транспирации свидетельствует о большей приспособленности чужеродных растений и может (наряду с другими признаками) использоваться для прогнозирования дальнейшего расширения их вторичного ареала и повышения шансов стать инвазионным видом [10].

Оценка адаптационных возможностей очень актуальна именно для чужеродных видов, поскольку дает возможность анализировать темпы натурализации растений во вторичном ареале. Для видов рода *Impatiens* это актуально вдвое, поскольку имеется возможность сравнивать по данному параметру близкородственные аборигенные и инвазионные виды. В настоящее время в Московском регионе аборигенная *I. noli-tangere* L. встречается нечасто: ее вытеснила из природных местообитаний – лесных биомов с избыточным увлажнением – центральноазиатская *I. parviflora* DC. Столи же активно во влажных лесах и по берегам водоемов расселилась гималайская *I. glandulifera* Royle. Чужеродные инвазионные виды превосходят аборигенную *I. noli-tangere* по устойчивости к болезням и вредителям, более длительному периоду цветения и более высокой семенной продуктивности, а также по большей холодаустойчивости. Однако сравнение этих видов по микроморфологическим признакам до сих пор не проводилось.

Цель данной работы – сравнительная характеристика признаков устьичного аппарата аборигенного и чужеродных инвазионных видов рода *Impatiens* для оценки конкурентоспособности близкородственных видов и поиска признака, по которому возможно прогнозировать адаптационные возможности чужеродных видов растений.

Материалы и методика

Поскольку количественные характеристики устьиц очень сильно зависят от экологических условий, проводить сравнительный анализ разных таксонов по этим параметрам не всегда представляется возможным. Сравнивать морфометрические признаки устьичного аппарата близких видов возможно лишь в случае их совместного произрастания в однородных экологических условиях. Но в природе обычно более двух-трех видов одного рода рядом не растут, так что объектом подобного исследования, в основном, являются коллекционные посадки. Возможно, поэтому в литературе почти нет сведений по сравнению морфометрических признаков устьиц нескольких видов одного рода. И действительно, мы не нашли ни одного растительного сообщества, в котором бы произрастали все три таксона рода *Impatiens* одновременно. Однако на заповедной территории Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук (Москва) в одном локалитете произрастают и *I. noli-tangere*, и *I. parviflora*, а в Леоновской роще, расположенной в 2,5 км восточнее, бок о бок растут *I. parviflora* и *I. glandulifera*. Эти четыре ценопопуляции и стали объектами нашего исследования, то есть, мы исследовали устьичный аппарат трех видов попарно. В конце июля 2020 г. в каждой ценопопуляции было отобрано по 4 растения, и с каждого из них собрано по 2 листа из средней части побега.

Для изучения особенностей устьичного аппарата использовался метод получения лаковых реплик со свежих листьев. Анализировали следующие микроморфологические признаки: число замыкающих клеток устьиц, длина продольной оси устьица (L), длина экваториальной оси (D), форма устьиц (по соотношению L/D), площадь одного устьица (S_{c}), число устьиц на единицу площади, общая транспирационная площадь (средняя площадь одного устьица, умноженная на число устьиц в поле зрения микроскопа, nS). Эти семь признаков изучены как для верхней, так и для нижней стороны листа, а затем определено их соотношение. Таким образом, устьичный аппарат трех таксонов характеризуется по 21 количественному признаку.

Морфометрические признаки измеряли с помощью цифрового микроскопа Keyence VHX-1000E. Объем проблемы для определения размеров устьиц – 40–50 шт. Среднюю площадь устьиц вычисляли по формуле площади эллипса: $S_{\text{c}} = \pi \times \frac{1}{2}L \times \frac{1}{2}D$, где L – средняя длина продольной оси устьица, D – средний экваториальный диаметр устьица. Число устьиц (n) подсчитывали не менее чем в 5 полях зрения микроскопа при увеличении $\times 1500$. Статистический анализ сделан с использованием программы PAST 3.15. Различия между образцами устанавливали с помощью теста Tukey-Kramer ($\alpha = 0.05$).

Результаты исследований

У аборигенного вида *I. noli-tangere* листья гипостоматические, т.е. устьица расположены только с нижней

Анатомия, морфология

стороны листа, у обоих чужеродных инвазионных видов листья амфистоматические, и устьица располагаются и на нижней, и на верхней стороне листовой пластинки

(рис. 1). При этом на верхней стороне листа число устьиц существенно меньше, чем на нижней, иногда они даже единичны.

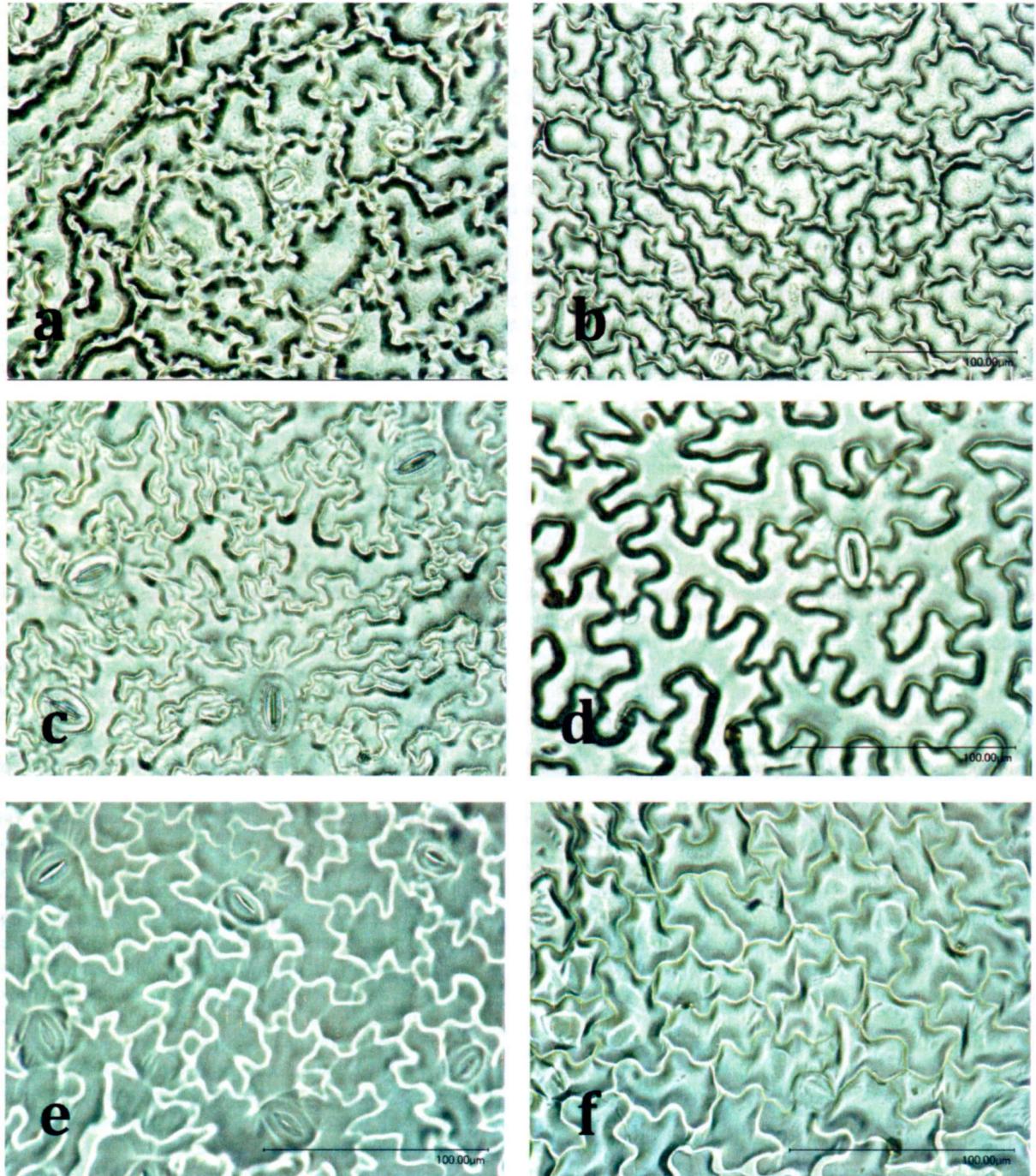


Рис. 1. Эпидермис листьев различных видов рода *Impatiens*: а – *I. noli-tangere*, нижняя сторона листа; б – *I. noli-tangere*, верхняя сторона листа, без устьиц; в – *I. parviflora*, нижняя сторона листа; д – *I. parviflora*, верхняя сторона листа, с единичными устьицами; е – *I. glandulifera*, нижняя сторона листа; ф – *I. glandulifera*, верхняя сторона листа

Анатомия, морфология

Таблица 1. Количественные признаки устьиц у таксонов рода *Impatiens*

Вид, место сбора	Сторона листа	Длина продольной оси устьица (L), мкм	Экваториальная ось устьица (D), мкм	L/D	Площадь одного устьица, S_{xy} , мкм ²	Среднее число устьиц в поле зрения, n	Площадь всех устьиц, мкм ²
<i>I. noli-tangere</i> , ГБС РАН	низ	<u>19,1±0,3</u> 12–25	<u>13,5±0,2</u> 9–18	<u>1,4±0,0</u> 0,9–1,9	<u>203,7±4,6</u> 106–294	4.0	815
	верх	устыица отсутствуют					
<i>I. parviflora</i> , ГБС РАН	низ	<u>31,0±0,5</u> 22–41	<u>19,3±0,3</u> 14–24	<u>1,6±0,0</u> 1,3–2,1	<u>476,2±13,6</u> 259–754	3.6	1714
	верх	<u>16,7±5,2</u> 11–27	<u>9,0±3,1</u> 5–15	<u>1,9±0,2</u> 1,7–2,2	<u>142,3±88,0</u> 43–318		
<i>I. parviflora</i> , Леоновская роща	низ	<u>26,1±0,5</u> 21–39	<u>14,7±0,4</u> 11–23	<u>1,8±0,0</u> 1,3–2,4	<u>305,0±12,6</u> 190–704	3,3	1006
	верх	устыица отсутствуют					
<i>I. glandulifera</i> , Леоновская роща	низ	<u>24,1±0,5</u> 17–32	<u>14,3±0,4</u> 10–19	<u>1,7±0,0</u> 1,4–2,3	<u>276,9±12,4</u> 133–477	3,9	1080
	верх	<u>21,3±0,8</u> 17–26	<u>13,3±0,5</u> 11–16	<u>1,6±0,0</u> 1,4–1,8	<u>223,7±15,0</u> 155–327		

Примечание. В числителе – среднее значение показателя, в знаменателе – амплитуда изменчивости

У чужеродных инвазионных видов с амфистоматическими листьями устьица на нижней стороне листа крупнее, чем на верхней (табл.1). У *I. parviflora* устьица на нижней стороне

листка крупнее более чем в три раза (средняя площадь одного устьица 476,2 против 142,3 мкм²), а у *I. glandulifera* – в 1,2 раза (276,9 против 223,7 мкм², соответственно).

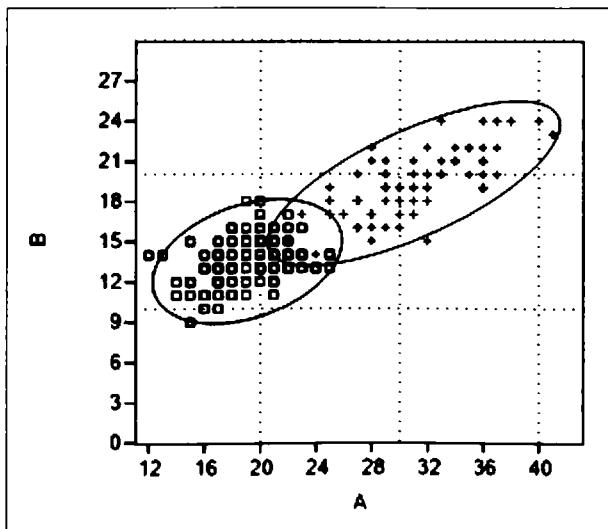


Рис. 2. Параметры устьиц видов рода *Impatiens*, произрастающих в ГБС РАН. А – длина продольной оси устьица, В – экваториальный диаметр устьица. Синие квадраты – *I. noli-tangere*; красные крестики – *I. parviflora*

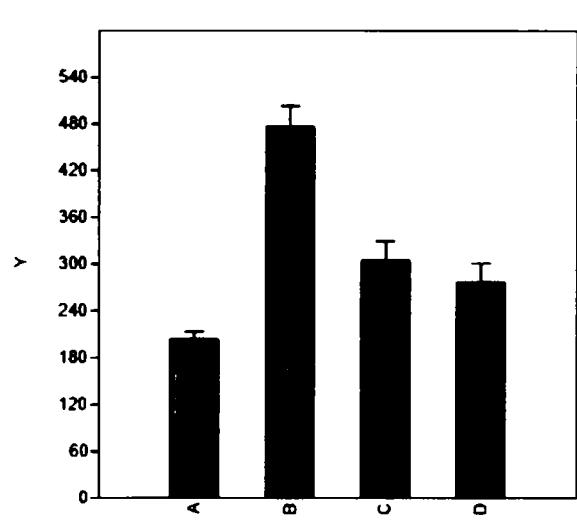


Рис. 3. Средняя площадь одного устьица (мкм²). А – *I. noli-tangere*, ГБС РАН; В – *I. parviflora*, ГБС РАН; С – *I. parviflora*, Леоновская роща; Д – *I. glandulifera*, Леоновская роща

Анатомия, морфология

У *I. noli-tangere* форма устьиц округло-овальная: отношение средней длины продольной оси устьица к средней длине экваториальной оси устьица составляет 1,4. В эпидермисе листа значительное место занимают межклетники. У *I. parviflora* и *I. glandulifera* устьица эллиптические: отношение средней длины продольной оси устьица к средней длине экваториальной оси устьица составляет 1,6–1,9, межклетников не отмечено.

Между образцами, собранными в ГБС РАН, наблюдается достоверное отличие чужеродной инвазионной *I. parviflora* от аборигенной *I. noli-tangere* по размерам устьиц (рис. 2). Между образцами, собранными в Леоновской роще, достоверного отличия по размерам устьиц между *I. parviflora* и *I. glandulifera* не отмечено. Образцы *I. parviflora* из ГБС РАН и из Леоновской рощи по размерам устьиц достоверно не различаются, однако у растений из Леоновской рощи устьица на верхней стороне листа отсутствуют полностью, а у растений из ГБС РАН они отмечены, хотя и в единичном числе.

По размеру устьиц с нижней стороны листа изученные таксоны выстраиваются в следующий ряд: *I. noli-tangere* (средняя площадь одного устьица $203,7 \pm 4,6 \text{ мкм}^2$) →

I. glandulifera (средняя площадь одного устьица $276,9 \pm 12,4 \text{ мкм}^2$) → *I. parviflora* (средняя площадь одного устьица от $305,0 \pm 12,6$ до $476,2 \pm 13,6 \text{ мкм}^2$). Таким образом, самыми мелкими устьицами, да еще расположеными только с нижней стороны листа, отличается аборигенная *I. noli-tangere* (рис. 3).

Все изученные виды на нижней стороне листа имеют от 3 до 4 устьиц и по этому признаку достоверно не различаются. Следовательно, и отсутствует корреляция между средней площадью одного устьица и средним числом устьиц.

Обсуждение

По сравнению с изученными нами ранее видами рода *Solidago* и *Sympyotrichum*, устьица у видов рода *Impatiens* имеют достоверно меньшие размеры, средняя транспирационная площадь у них также ниже. У *Sympyotrichum* средняя площадь одного устьица положительно коррелирует со средним числом устьиц: у видов с крупными устьицами число их выше, чем у видов с мелкими устьицами, тогда как у видов рода *Solidago* эта зависимость обратная. У видов рода *Impatiens* не отмечено никакой корреляции – число устьиц на нижней стороне листа у всех трех видов достоверно не различается и составляет в среднем 3,3–4,0 в поле зрения микроскопа.

Морфометрические признаки устьичного аппарата значительно варьируют в пределах одного вида в зависимости от места произрастания растений. Так, образцы *I. parviflora* из ГБС РАН имеют амфистоматические листья, хотя на верхней стороне листа отмечены только единичные устьица, тогда как растения из Леоновской рощи имеют гипостоматические листья.

Полученные нами данные по варьированию признаков устьичного аппарата у различных видов рода *Impatiens*

довольно хорошо согласуются с их инвазивностью. Широко распространенные инвазионные во вторичном ареале *I. parviflora* и *I. glandulifera* имеют и наиболее высокую общую площадь транспирации, тогда как аборигенный вид, сокращающий свою численность, отличается самой низкой площадью транспирации, обусловленную наличием мелких устьиц. Аналогичная тенденция выявлена ранее и для видов рода *Solidago* – наиболее агрессивные инвазионные виды (*S. altissima*, *S. serotinoides*, *S. juncea*) имели и больший индекс относительной площади транспирации [9].

Заключение

У аборигенного вида *I. noli-tangere* листья гипостоматические, т.е. устьица расположены только с нижней стороны листа, у обоих чужеродных инвазионных видов листья амфистоматические, и устьица располагаются и на нижней, и на верхней стороне листовой пластиинки. По числу устьиц с нижней стороны листа виды достоверно не различаются. Аборигенный *I. noli-tangere* имеет самые мелкие устьица (204 мкм^2) и наименьшую общую площадь транспирации (815 мкм^2). Чужеродные инвазионные виды по этим показателям превосходят аборигенный: *I. glandulifera* имеет устьица со средней площадью 277 мкм^2 и общую площадь транспирации 1348 мкм^2 , у *I. parviflora* средняя площадь одного устьица варьирует от $305,0$ до 476 мкм^2 и общая площадь транспирации – от 1006 до 1714 мкм^2 . Высокое значение общей площади транспирации свидетельствует о более высокой конкурентоспособности чужеродных видов, а не аборигенного вида, и может (наряду с другими признаками) использоваться для подтверждения успешной адаптации чужеродных растений к условиям вторичного ареала.

**Работа выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки РФ
(проект 19-119080590035-9) при частичной поддержке гранта РФФИ № 19-54-26010.**

Список литературы

- Smith S., Weyers J.D.B., Berry W.G. Variation in stomatal characteristics over the lower surface of *Commelinis communis* leaves // Plant Cell Env. 1989. Vol. 12. Pp. 653–659.
- Al Afas N., Marron N., Ceulemans R. Clonal variation in stomatal characteristics related to biomass production of 12 poplar (*Populus*) clones in a short rotation coppice culture // Environ. Exp. Bot. 2006. Vol. 58. Pp. 279–286.
- Woodward F.I., Kelly C.K. The influence of CO₂ concentration on stomatal density // New Phytol. 1995. Vol. 131. Pp. 311–327.
- Martin J.A., Gella R., Herrero M. Stomatal Structure and Functioning as a Response to Environmental Changes in Acclimatized Micropropagated *Prunus cerasus* L.// Annals of Botany. 1988. Vol. 62(6). Pp. 663–670.

Анатомия, морфология

5. Киселева Н.С. Оценка адаптационной способности различных генотипов груши по морфоанатомическому и физиологическому состоянию листьев // С.-х. биология. Сер. Биология растений. 2009. № 3. С. 34–38.
6. Егорова Д.А., Виноградова Ю.К., Горбунов Ю.Н., Молканова О.И. Клональное микроразмножение и оценка адаптивной способности белоцветковой формы *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. // Вестник Удмуртского ун-та. 2016. Т. 26(4). С. 25–31.
7. James A.S., Bell D.T. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* provenances // Tree Physiol. 2000. Vol. 20. Pp. 1007–1018.
8. Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change // Nature. 2003. Vol. 424. Pp. 901–908.
9. Vinogradova Yu., Grygorieva O., Vergun O. Stomatal structure in *Solidago* L. species as the index of their adaptation opportunities // Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality. 2019. Pp. 101–110.
10. Виноградова Ю.К., Григорьева О.В., Вергун Е.Н. Строение устьичного аппарата видов рода *Sympyotrichum* Nees как дополнительный показатель их инвазивности // Российский журнал биологических инвазий. 2020. № 4. С. 34–44.
- References**
- Smith S., Weyers J.D.B., Berry W.G. Variation in stomatal characteristics over the lower surface of *Commelinia communis* leaves // Plant Cell Env. 1989. Vol. 12. Pp. 653–659.
 - Al Afas N., Marron N., Ceulemans R. Clonal variation in stomatal characteristics related to biomass production of 12 poplar (*Populus*) clones in a short rotation coppice culture // Environ. Exp. Bot. 2006. Vol. 58. Pp. 279–286.
 - Woodward F.I., Kelly C.K. The influence of CO₂ concentration on stomatal density // New Phytol. 1995. Vol. 131. Pp. 311–327.
 - Marin J.A., Gella R., Herrero M. Stomatal Structure and Functioning as a Response to Environmental Changes in Acclimatized Micropropagated *Prunus cerasus* L.// Annals of Botany. 1988. Vol. 62(6). Pp. 663–670.
 - Kisseleva N.S. Otsenka adaptatsionnoi sposobnosti razlichnykh genotipov grushi po morfoanatomicheskому i fiziologicheskому sostoyaniyu list'ev [Assessment of adaptation capacity of different pear genotypes by morphoanatomical and physiological condition of leaves] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. Ser. Biologiya rastenii [Agricultural Biology. Ser. of Plant Biology]. 2009. N 3. Pp. 34–38.
 - Egorova D.A., Vinogradova Yu.K., Gorbunov Yu.N., Molkanova O.I. Klonal'noe mikrorazmnozhenie i otsenka adaptivnoi sposobnosti belotsvetkovoi formy *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. [Clonal micropropagation and assessment of the adaptive capacity of the white-flowered form of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.] // Vestnik Udmurtskogo un-ta [Bulletin of the Udmurt State University]. 2016. Vol. 26(4). Pp. 25–31.
 - James A.S., Bell D.T. Influence of light availability on leaf structure and growth of two *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* provenances // Tree Physiol. 2000. Vol. 20. Pp. 1007–1018.
 - Hetherington A.M., Woodward F.I. The role of stomata in sensing and driving environmental change // Nature. 2003. Vol. 424. Pp. 901–908.
 - Vinogradova Yu., Grygorieva O., Vergun O. Stomatal structure in *Solidago* L. species as the index of their adaptation opportunities // Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality. 2019. Pp. 101–110.
 - Vinogradova Yu.K., Grygorieva O.V., Vergun E.N. Stroenie ust'ichnogo apparata vidov roda *Sympyotrichum* Nees kak dopolnitel'nyi pokazatel' ikh invazivnosti [Stomatal structure in *Sympyotrichum* Nees species as the index of their invasiveness] // Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii [Russian Journal of Biological Invasions]. 2020. Vol. 4. Pp. 34–44.

Информация об авторе

Виноградова Юлия Константиновна, д-р биол. наук, гл. н. с.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
127276, Российская Федерация, Москва, ул. Ботаническая, д. 4
E-mail: gbsad@mail.ru

Information about the author

Vinogradova Yulia Konstantinovna, Dr. Sci. Biol., Chief Researcher
Federal State Budgetary Institution for Science Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences
127276 Russian Federation, Moscow, Botanicheskaya street, 4
E-mail: gbsad@mail.ru

Биотехнология растений

И.В. Ширнина

Н.С.

О.И. Молканова

канд. с.-х. наук, вед. н. с.

Ю.Н. Горбунов

д-р биол. наук, гл. н. с.

Е.В. Соболева

мл. н. с.

О.Г. Васильева

канд. биол. наук, н.с.

ФГБУН Главный ботанический сад

им. Н.В. Цицина РАН

Москва, Российская Федерация

Особенности клonalного микроразмножения *Rubus arcticus* L.

В статье представлены результаты исследования особенностей морфогенеза сортов княженики арктической (*Rubus arcticus* L.) на всех этапах культивирования *in vitro* и адаптации к условиям *ex vitro*. На этапе введения в культуру *in vitro* установлен оптимальный способ стерилизации: последовательное применение 2% раствора «Фундазол» с экспозицией 10 минут, 70% этианола в течение 30 секунд и 7% гипохлорита кальция – 5 минут. Максимальное число жизнеспособных регенерантов княженики было получено при отборе первичных эксплантов в период начала активного роста побегов (апрель – начало мая). Частота регенерации при этом составила 60–75% в зависимости от сорта. Определен оптимальный состав питательных сред на различных этапах клonalного микроразмножения. Установлено, что на этапе собственно микроразмножения наиболее эффективно культивировать княженику на питательной среде MS, дополненной 0,3 мг/л 6-БАП. На этапе ризогенеза выявлена эффективность использования ИУК в концентрации 0,5 мг/л. Изучение влияния состава почвенного субстрата на динамику роста регенерантов показало, что адаптацию княженики арктической эффективно осуществлять на торфяном субстрате (рН 5,5–6,5).

Ключевые слова: клональное микроразмножение, морфогенез, *Rubus arcticus* L., регуляторы роста, адаптация.

I.V. Shirnina

Researcher

O.I. Molkanova

Cand. Sci. Agricult., Leading Researcher

Yu.N. Gorbunov

Dr. Sci. Biol., Chief Researcher

E.V. Soboleva

Junior Researcher

O.G. Vasilyeva

Cand. Sci. Biol., Researcher

Federal State Budgetary Institution for Science

Tsitsin Main Botanical Garden, Russian

Academy of Sciences

Moscow, Russian Federation

Features of clonal micropropagation *Rubus arcticus* L.

The article presents the results of a study of the morphogenesis of arctic raspberry (*Rubus arcticus* L.) at all stages of cultivation *in vitro* and adaptation to *ex vitro* conditions. At the stage of introduction *in vitro* the following method of sterilization was established: sequential application of a 2% solution of «Fundazol» with an exposure time of 10-15 minutes, 70% ethanol for 30 seconds and 7% calcium hypochlorite – 5–7 minutes. The maximum number of viable regenerated plants of arctic raspberry was obtained when selecting primary explants during the period of the beginning of shoot growth (April – early May). The regeneration rate was at 60–75%, depending on the variety. The most suitable composition of nutrient media at different stages of micropropagation has been determined. At the stage of micropropagation the most effective nutrient medium to cultivate an arctic raspberry is a MS nutrient medium supplemented with 0.3 mg/l 6-BAP. At the stage of rhizogenesis, the efficiency of using IAA at a concentration of 0.5 mg / l was revealed. The study of the influence of the soil substrate composition on the growth dynamics of regenerated plants showed that the adaptation of the arctic raspberry is effectively carried out on a substrate consisting of peat (pH 5,5–6,5).

Keywords: clonal micropropagation, morphogenesis, *Rubus arcticus* L., growth regulators, adaptation.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1082

Введение

Княженика – *Rubus arcticus* L. – невысокое многолетнее растение с длинным ползучим корневищем. Стебли

высотой до 30 см, без колючек, с 2–6 тройчатыми листьями. Цветки обычно одиночные, розовые, обоеполые или не вполне однополые (тогда растения двудомные). Плоды темно-пурпуровые многоягодники. Растет в заболоченных

Биотехнология растений

лесах и редколесьях, на сырых лугах и болотах северных районов Европы, Азии и Северной Америки [1].

Княженика ценится за плоды прекрасного вкуса и аромата, которые употребляют в пищу в сыром и переработанном виде. Растение применялось как лекарственное в народной медицине в северных регионах и на Камчатке. В плодах княженики содержится целый набор важных в биологическом отношении веществ: сахара (от 5 до 8%, в основном фруктоза и глюкоза), органические кислоты, дубильные и пектиновые вещества (0,4–0,6%), от 100 до 400 мг% витамина С. Цвет плодов княженики определяется антиоцидантами, обладающими антиоксидантным действием [1–6]. Необычный аромат ягод княженики, непохожий на другие ягоды и фрукты, связан с ароматическими веществами, в составе которых было идентифицировано более 70 соединений [7].

В природе княженика характеризуется низкой урожайностью, что обусловлено биологией ее цветения и опыления. В связи с этим, начиная с 30-х годов, в Финляндии и Швеции и, несколько позже, в Эстонии начались работы по введению этого растения в культуру. Более интенсивные исследования в этом направлении проводятся с 60-х годов. В этих странах также ведется работа по созданию сортов данного вида [8–10].

Шведские и финские гибридные сорта *R. arctica* хорошо зарекомендовали себя при выращивании в Беларуси, а также в Костромской и Кировской областях России [11–13]. Однако введение княженики в промышленную культуру сдерживается низкой эффективностью способов ее вегетативного размножения. В этом отношении весьма перспективна разработка методологии клonalного размножения княженики *in vitro*, позволяющей получать в относительно короткое время большое количество генетически однородного, оздоровленного посадочного материала.

Rubus arcticus L. – малоизученная в условиях *in vitro* ягодная культура, поэтому исследования по оптимизации клonalного микроразмножения являются актуальными. Данная методика позволяет за короткий период получать большое количество генетически однородного посадочного материала малораспространенных сортов княженики [13].

Возможность введения княженики в культуру *in vitro* впервые была показана в 1959 году Е.П. Черновой [8]. Несмотря на многочисленные исследования по изучению особенностей культивирования *R. arcticus* *in vitro* некоторые этапы клonalного микроразмножения остаются незавершенными. Одной из причин является высокая гетерогенность сортов, влияющая на образование, развитие микропобегов и специфичные требования к условиям культивирования [14, 15].

Цель данной работы – усовершенствование технологии клonalного микроразмножения княженики для массового получения посадочного материала.

Материалы и методы

Исследования проводили в лаборатории биотехнологий растений ФГБУН ГБС им. Н.В. Цицина РАН. В

качестве объектов использовали различные сорта *Rubus arcticus* L., выведенные селекционерами в Финляндии ('Beata', 'Sofia' и 'Anna') и Швеции ('Astra') [9].

Культивирование растений *in vitro* проводили в стерильных условиях согласно методикам, принятым в лаборатории биотехнологии ГБС РАН [16, 17].

В качестве первичных эксплантов использовали меристемы, изолированные из апикальных и латеральных почек, а также апексы активно растущих побегов. Для поверхностной стерилизации последовательно применяли 2% раствор фунгицида «Фундазол» в течение 10–15 минут, 70% раствор этанола (C_2H_6O) – 20–40 секунд и 7% раствор гипохлорита кальция ($Ca(ClO)_2$) – 5–10 минут.

На этапе собственно размножения использовали питательную среду MS (1962), дополненную 6-БАП в концентрации 0,3; 0,5; 1 мг/л. В качестве контроля использовали питательную среду MS без гормональных добавок.

На стадии ризогенеза микрорастения помещали на различные питательные среды ½MS с добавлением ИУК и ИМК в концентрации 0,3 и 0,5 мг/л.

Через 20–25 дней культивирования учитывали морфометрические показатели развития регенерантов. Исследования были проведены в трех повторностях, по 30 эксплантов в каждой. Регенеранты культивировали при освещении 1500–2000 Лк, температуре 15–20 °C, с фотопериодом 16/8 часов [18].

Для адаптации растений-регенерантов княженики к условиям выращивания *ex vitro* использовали три вида субстрата: верховой торф (рН 5,5–6,5); смесь торфа и перлита в соотношении 1:1 и смесь торфа и песка в соотношении 1:1.

Обработку полученных данных проводили в программе Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и обсуждение

Основную роль при разработке и оптимизации методик клonalного микроразмножения играют генетические характеристики растений, тип экспланта, состав питательной среды и условия культивирования [19].

Первым этапом введения экспланта в культуру *in vitro* является стерилизация. В процессе исследования был подобран оптимальный режим стерилизации первичных эксплантов: последовательное применение 2% раствора «Фундазола» с экспозицией 10 минут, 70% этанола в течение 30 секунд и 7% гипохлорита кальция – 5 минут. При этом уровень контаминации составил 7–21%. Увеличение экспозиции приводило к снижению контаминации, но при этом увеличивалось количество нежизнеспособных эксплантов. Максимальное число жизнеспособных регенерантов княженики было получено при отборе первичных эксплантов в период начала активного роста побегов (апрель – начало мая). Частота регенерации при этом составила 60–75%.

Инициация развития меристем происходила на 5–7 сутки. Через 14 суток культивирования у исследуемых

Биотехнология растений

сортов наблюдали начало образования adventивных почек, которые через месяц развивались в многочисленные.

На развитие экспланта в культуре *in vitro*, прежде всего, влияет состав питательной среды, поэтому при культи-

вировании княженики использовали питательные среды с различным содержанием 6-БАП (рис.1).

Сравнительный анализ полученных данных на питательных средах не показал существенной разницы между коэффициентами размножения, поэтому оптимальной на этапе собственно микроразмножения является питательная среда MS, дополненная 0,3 мг/л 6-БАП. Применение данной питательной среды повышает экономическую рентабельность производства посадочного материала княженики арктической.

В ходе проведенных исследований не была выявлена зависимость морфогенетических реакций от генотипа.

При изучении укореняемости микропобегов княженики было установлено влияние генотипа (рис. 2).

Генотип растений оказывал достоверное влияние на укореняемость растений княженики *in vitro*. Наибольший процент был получен у сорта «Sofia» ($77,2\% \pm 0,21$). Помимо генотипа на укореняемость растений также влияли тип и концентрация регуляторов роста в составе питательной среды (рис.3).

В ходе исследования установлено, что различия между укореняемостью на всех питательных средах статистически значимы. Наибольший процент укореняемости наблюдали на среде, содержащей 0,5 мг/л ИУК ($82,2\% \pm 0,43$).

При культивировании в течение 35–50 суток на питательной среде MS, дополненной 0,3 мг/л 6-БАП, наблюдали спонтанное укоренение у всех исследуемых сортов, что позволяет ускорить процесс клonalного микроразмножения на 30% и повысить экономическую рентабельность (рис.4).

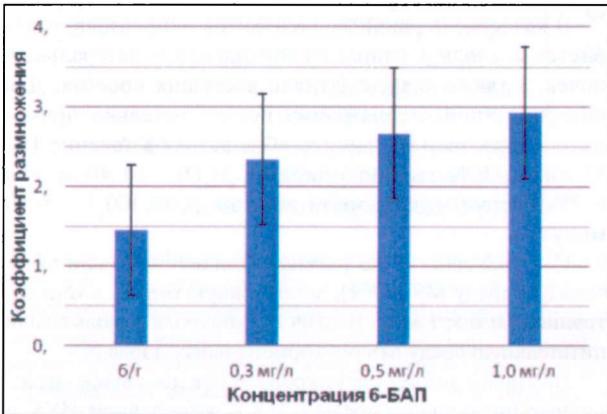


Рис. 1. Влияние концентрации 6-БАП на коэффициент размножения *R. arcticus*

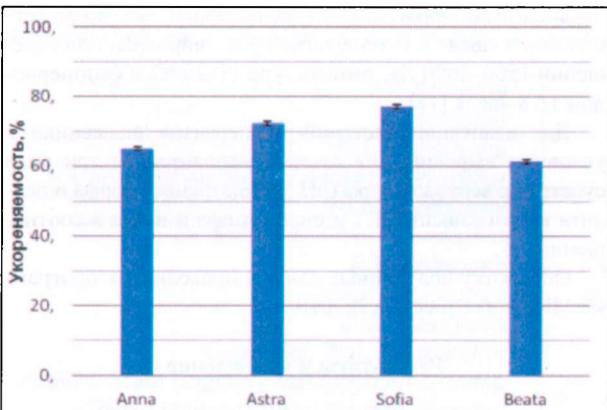


Рис. 2. Влияние генотипа на укореняемость сортов *R. arcticus*

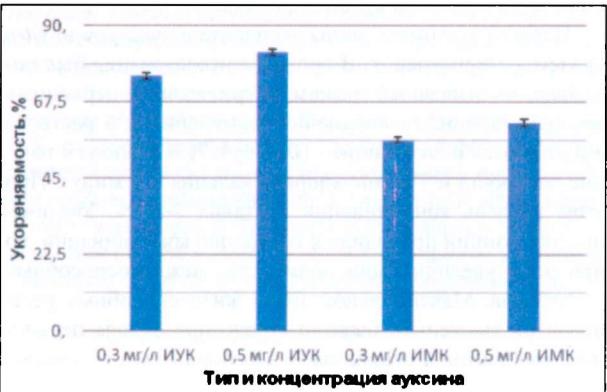


Рис. 3. Влияние типа и концентрации ауксина в составе питательной среды на укореняемость *R. arcticus*



Рис. 4. а) спонтанное укоренение *R. arcticus*; б) адаптированные растения *R. arcticus*

Биотехнология растений

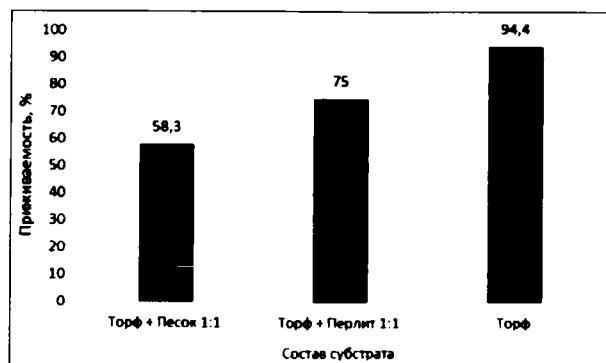


Рис. 5. Влияние состава субстрата на приживаемость *R. arcticus*, HCP=0,65

При адаптации растений-регенерантов княженики к условиям выращивания *ex vitro* использовали различные типы субстратов (рис.5).

Применение почвенного субстрата, состоящего из торфа, эффективно влияет на темп роста княженики арктической (приживаемость – 94,4%±0,65).

Через 3-4 месяца после адаптации *ex vitro* растения высаживали на коллекционно-производственный участок. Все растения имели хорошо развитые побеги и мощную корневую систему.

Выводы

В процессе исследования были оптимизированы условия и приемы культивирования перспективных сортов княженики арктической на всех этапах клonalного микроразмножения. Оптимальными сроками отбора первичных эксплантов был период начала активного роста побегов (апрель – начало мая). На этапе введения в культуру *in vitro* наиболее эффективным был способ стерилизации, состоящий из последовательного применения 2% раствора фунгицида «Фундазол» в экспозиции 10 минут, 70% этанола в течение 30 секунд, 7% гипохлорита кальция – 5 минут. Частота регенерации при этом составила 60–75 % в зависимости от сорта княженики арктической.

На этапе собственно микроразмножения оптимальным оказалось использование питательной среды с минеральным составом MS, дополненной 0,3 мг/л 6-БАП. Применение 0,5мг/л ИУК на этапе укоренения эффективно влияло на формирование корневой системы у микропобегов.

Спонтанное укоренение в культуре *in vitro* позволяет ускорить процесс клonalного микроразмножения на 30 % и повысить экономическую рентабельность

Для успешной адаптации и дальнейшего развития регенерантов в условиях *ex vitro* оптимальным было использование почвенного субстрата, состоящего из верхового торфа, который эффективно влияет на темпы роста растений.

**Работа выполнена в рамках ГЗ ГБС РАН
(№18-118021490111-5) и при поддержке
ГК Минобрнауки России (№ 05.620.21.0002).**

Список литературы

- Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 2: Покрытосеменные (двудольные: раздельноплестистные). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2003. 665 с.
- Лугинина Е.А. Содержание витаминов в плодах дикорастущих ягодных растений Севера // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сб. трудов VII научн. конф. с междунар. участием. 2019. С. 222–228.
- Кошев А.К., Смирняков Ю.И. Лесные ягоды. Справочник. М.: Экология, 1992. 270 с.
- Баранова И.И., Смирнова Л.М., Ершова Г.Ф. Биологически активные вещества некоторых дикорастущих ягод Южной Карелии // Эколого-биологические особенности и продуктивность растений болот. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. 1982. С. 134–140.
- Черкасов А.Ф., Миронов К.А., Шутов В.В., Тяк Г.В., Временьева С.С., Макеев В.А. Недревесные лесные ресурсы Костромской области: дикорастущие плоды и ягоды, лекарственные растения и грибы. Кострома: Изд-во КГТУ, 2006. 250 с.
- Hakkinen S., Kokko H., Karenlampi S., Paasikoski S. Sugars and organic acids in clones and cultivars of arctic bramble and hybrid. Sensory evaluation of juices and jellies // Agricultural Science in Finland. 1995. Vol. 4. N 4. Pp. 385–395.
- Kallio H. Development of volatile aroma compounds in arctic bramble, *Rubus arcticus* L. // Journal of Food Science. 1976. Vol. 41. Pp. 563–566.
- Чернова Е.П. Поляника (*Rubus arcticus* L.) и ее введение в культуру. М.-Л.: АН СССР, 1959. 35 с.
- Hiirsalmi H., Junnila S., Sako J. 'Aura' and 'Astra'. Finnish arctic bramble hybrid varieties // Ann. Agric. Fenn. Jokioinen. 1987. Vol. 26. Pp. 261–269.
- Pirinen H., Dalman P., Karenlampi S., Tamminen J., Kokko H. Description of three new arctic bramble cultivars and proposal for cultivar identification // Agricultural and food science in Finland. 1998. Vol. 7. N 4. Pp. 455–468.
- Яцына А.А., Концевая И.И. Размножение и интродукция поляники (*Rubus arcticus* L.) в Беларуси // Плодоводство. 2004. Т. 15. С. 207–211.
- Тяк Г.В., Алтухова С.А.. Применение минеральных удобрений в посадках княженики на выработанном торфянике // Теоретические и прикладные аспекты рационального использования и воспроизведения недревесной продукции леса. Гомель, 2008. С. 305–308.
- Тяк Г.В., Макаров С.С., Калашникова Е.А., Тяк А.В. Размножение и культивирование княженики арктической (*Rubus arcticus* L.). // Плодоводство и яголоводство России. 2018. Т. 52. С. 95–99.
- Макаров С.С., Кузнецова И.Б. Корнеобразование *in vitro* и адаптация *ex vitro* княженики арктической при клonalном микроразмножении // Известия Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2018. № 6 (74). С. 52–55.
- Макаров С.С. Разработка технологии клonalного микроразмножения лесных ягодных растений и введение их в культуру на выработанных торфяниках // Автореф. дис. канд. с.-х. наук. Пушкино. 2019. 25 с.
- Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: Учеб. пособие. М.: ФБК-ПРЕСС, 1991. 160 с.
- Малаева Е.В., Коновалова Е.В., Молканова О.И. Использование биотехнологических методов для сохранения и поддержания коллекции актинидий в культуре *in vitro* // Плодоводство и яголоводство России. 2009. Т. 21 № 1. С. 212–218.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Биотехнология растений

19. Молканова О.И., Горбунов Ю.Н., Ширнина И.В., Егорова Д.А. Применение биотехнологических методов для сохранения генофонда редких видов растений // Ботанический журнал. 2020. Т. 105. № 6. С. 610–619.

References

1. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 2: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолистные) [An illustrated guide to plants of Central Russia. T. 2: Angiosperms (dicotyledons: dicotyledonous)]. М.: Товарищество научных изданий КМК [Moscow: Publishing house «KMK Scientific Publishing Partnership»], 2003. 665 p.
2. Лугинина Е.А. Содержание витаминов в плодах дикорастущих ягодных растений Севера [Vitamin content in fruits of wild berry plants of the North] // Современные тенденции развития технологий здравоохранения. Сб. трудов VII научн. конф. с междунар. участием. 2019. Pp. 222–228.
3. Кожеев А.К., Смирнов Ю.И. Лесные ягоды. Справочник [Berries. Directory]. М.: Экология [Moscow: Publishing House «Ecology»], 1992. 270 p.
4. Баранова И.И., Смирнова Л.М., Ершова Г.Ф. Биологические активные вещества некоторых дикорастущих ягод Южной Карелии [Biologically active substances of some wild berries of the South] // Эколого-биологические особенности и продуктивность растений болот [Ecological and biological characteristics and productivity of swamp plants]. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР [Petrozavodsk: Karel'skij filial AN SSSR [Petrozavodsk: Karelian Branch of the USSR Academy of Sciences], 1982. Pp. 134–140.
5. Черкасов А.Ф., Миронов К.А., Шутов В.В., Тяк Г.В., Верем'єва С.С., Макеев В.А. Недревесные лесные ресурсы Костромской области: дикорастущие плоды и ягоды, лекарственные растения и грибы [Non-timber forest resources of the Kostroma region: wild fruits and berries, medicinal plants and mushrooms]. Кострома: Изд-во КГТУ [Kostroma: Publishing House «KSTU»], 2006. 250 p.
6. Hakkinen S., Kokko H., Karenlampi S., Paasikoski S. Sugars and organic acids in clones and cultivars of arctic bramble and hydrid. Sensory evaluation of juices and jellies / Agricultural Science in Finland. 1995. Vol. 4. N 4. Pp. 385–395.
7. Kallio H. Development of volatile aroma compounds in arctic bramble, *Rubus arcticus* L. / Journal of Food Science. 1976. Vol. 41. Pp. 563–566.
8. Chernova E.P. Polyanika (*Rubus arcticus* L.) i ee vvedenie v kulturu [Arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) and its introduction to culture]. М.-Л.:АН СССР, 1955. 35 p.
9. Hiirsalmi H., Junnila S., Sako J. 'Aura' and 'Astra', Finnish Arctic Bramble Hybrid Varieties // Ann. Agric. Fenn. Jokioinen. 1987. N 26. Pp. 261–269.
10. Pirinen H., Dalman P., Karenlampi S., Tamminen J., Kokko H. Description of three new arctic bramble cultivars and proposal for cultivar identification // Agricultural and food science in Finland. 1998. Vol. 7. N 4. Pp. 455–468.
11. Yatsyna A.A., Kontsevaya I.I. Razmnozhenie i introduksiya polyaniki (*Rubus arcticus* L.) v Belarusi [Reproduction and introduction of the arctic bramble (*Rubus arcticus* L.) in Belarus] // Plodovodstvo [Pomiculture]. 2004. Vol. 15. Pp. 207–211.
12. Tyak G.V., Altuhova S.A. Primenenie mineral'nykh udobrenii v posadkakh knyazheniki na vyrobattom torfyanike [The use of mineral fertilizers in the plantings of the princess on the worked-out peat bog] // Teoreticheskie i prikladnye aspekty racionarnogo ispol'zovaniya i vosprievodstva nedrevesnoj produkciyu lesa [Theoretical and applied aspects of the rational use and reproduction of non-timber forest products]. Gomel', 2008. Pp. 305–308.
13. Tyak G.V., Makarov S.S., Kalashnikova E.A., Tyak A.V. Razmnozhenie i kul'tivirovanie knyazheniki arkticheskoi (*Rubus arcticus* L.) [Reproduction and cultivation of the Arctic princess (*Rubus arcticus* L.).] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii [Pomiculture and small fruits culture in Russia]. 2018. Vol. 52. Pp. 95–99.
14. Makarov S.S., Kuznecova I.B. Korneobrazovanie *in vitro* i adaptaciya *ex vitro* knyazheniki arkticheskoi pri klonal'nom mikrorazmnozhenii [Root formation *in vitro* and *ex vitro* adaptation of the arctic princess during clonal micropropagation] // Izvestiya Orenburg. gos. agrar. un-ta [Izvestiya Orenburg State Agrarian University]. 2018. № 6 (74). Pp. 52–55.
15. Makarov S.S. Razrabotka tekhnologii klonal'nogo mikrorazmnozheniya lesnykh yagodnykh rastenii i vvedenie ikh v kul'turu na vyrobottannyykh torfyanikakh [Development of a clonal micropropagation technology of forest berry plants and their introduction into cultivation on worked-out peatlands] // Avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk [Abstr... Diss. Cand. Agricultural Sci. (PhD)]. Pushkino. 2019. 25 p.
16. Butenko R.G. Biologiya kletok vysshikh rasteniy *in vitro* i biotekhnologii na ikh osnove: Ucheb. posobie [Biology of higher plants cells *in vitro* and biotechnology based on them: textbook]. М.: FBK-PRESS [Moscow: Publishing House «FBK-PRESS»]. 1991. 160 p.
17. Malaeva E.V., Konovalova E.V., Molkanova O.I. Ispol'zovanie biotekhnologicheskikh metodov dlya sokhraneniya i podderzhaniya kollektivs aktinidii v kulture *in vitro* [The use of biotechnological methods to preserve and maintain the actinidia collection *in vitro*] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii [Pomiculture and small fruits culture in Russia]. 2009. Vol. 21. N 1. Pp. 212–218.
18. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opыта [Field experiment methodology]. М.: Agropromizdat [Moscow: Publishing House «Agropromizdat»]. 1985. 351 p.
19. Molkanova O.I., Gorbunov Yu.N., Shirnina I.V., Egorova D.A. Primenenie biotekhnologicheskikh metodov dlya sokhraneniya genofonda redkih vidov rastenii [Application of biotechnological methods for preserving the gene pool of rare plant species] // Botanicheskiy zhurnal [Botanical Journal]. 2020. Vol. 105. N 6. Pp. 610–619.

Информация об авторах

- Ширнина Ирина Васильевна, н.с.
Молканова Ольга Ивановна, канд. с.-х. наук, вед. н. с.
Горбунов Юрий Николаевич, д-р биол. наук, гл. н. с.
E-mail: gbsran@mail.ru
Соболева Екатерина Владиславовна, мл. н. с.
Васильева Ольга Григорьевна, канд. биол. наук, н.с.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
127276, Российская Федерация, Москва, ул. Ботаническая, д. 4

Information about the authors

- Shirnina Irina Vasilevna, Researcher
Molkanova Olga Ivanovna, Cand. Sci. Agricult., Leading Researcher
Gorbunov Yuri Nikolaevich, Dr. Sci. Biol., Chief Researcher
E-mail: gbsran@mail.ru
Soboleva Ekaterina Vladislavovna, Junior Researcher
Vasiliyeva Olga Grigoryevna, Cand. Sci. Biol., Researcher
Federal State Budgetary Institution for Sciences Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences
127276, Russian Federation, Moscow, Botanicheskaya Str. 4

Биотехнология растений

A.P. Гришин¹

д-р. техн. наук, ведущий научный сотрудник

A.A. Гришин¹

канд. экон. наук, старший научный сотрудник

Н.А. Семенова¹

канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

В.А. Гришин¹

младший научный сотрудник

М.В. Степанов²

доцент кафедры инженерной

и компьютерной графики

А.А. Дорохов¹

младший научный сотрудник

¹ФГБНУ «Федеральный научный

агроинженерный центр ВИМ»

²ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

Исследовательские климатические камеры для растениеводства

В статье представлена информация по некоторым видам климатических камер, предназначенных для проведения научно-исследовательских работ в требуемых микроклиматических условиях. Приведены сведения о камере стеллажного типа, которая имеет компактные размеры, малое энергопотребление и интуитивно понятную систему управления. Также, в работе представлена климатическая камера модульного типа, количество модулей и размеры всей установки выбираются в соответствии с требованиями и масштабами экспериментального исследования. Такие камеры имеют интеллектуальную систему управления параметрами микроклимата (температура, влажность, концентрация CO₂) и возможность регулирования интенсивности и спектрального состава света. Климатические камеры разработаны и изготовлены в Федеральном научном агрогенеральном центре ВИМ.

Ключевые слова: закрытые агрокосистемы, фитооблучатели, температура, гидропоника, субстрат, система управления, микроклимат, климатическая камера.

A.P. Grishin¹

Dr. Sci. Techn., Leading Researcher

A.A. Grishin¹

Cand. Sci. Econom., Senior Researcher

N.A. Semenova¹

Cand. Sci. Agricul., Senior Researcher

V.A. Grishin¹

Junior Researcher

M.V. Stepanov²

Associate Professor of the Department of
Engineering and Computer Graphics

A.A. Dorokhov¹

Junior Researcher

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM

²Russian State Agrarian University - Moscow

Timiryazev Agricultural Academy

E-mail: dorokhov-91@yandex.ru.ru

Research climatic chambers for crop production

The article provides information on some types of climatic chambers intended for research work in the required microclimatic conditions. Provides information about the rack-type camera, which has a compact size, low power consumption and an intuitive control system. Also, the work presents a modular-type climatic chamber, the number of modules and the dimensions of the entire installation are selected in accordance with the requirements and scope of the experimental study. Such cameras have an intelligent control system for microclimate parameters (temperature, humidity, CO₂ concentration) and the ability to control the intensity and spectral composition of light. Climatic chambers are designed and manufactured at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM.

Keywords: closed agroecosystems, phytoirradiators, temperature, hydroponics, substrate, control system, microclimate, climatic chamber.

Биотехнология растений

Одно из важнейших приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации должно обеспечить в ближайшее время «Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и ахахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания».

Этот приоритет направлен в первую очередь на обеспечение продовольственной безопасности нашей страны, а также на экспорт сельскохозяйственной продукции. Одним из перспективных направлений является овощеводство закрытого грунта [1]. Для наращивания объемов производства и получения продуктов функционального питания, необходимо проводить научно-исследовательские работы в изолированных условиях. С этой целью используются климатические камеры различной конфигурации, в которые установлены фитосветильники [2].

Световой спектр действия фотосинтеза для различных культур имеет сходный состав, вместе с тем, существуют видоспецифические реакции растений на различные составляющие спектра светового потока [3, 4]. Качество света оказывает влияние на накопление сырой и сухой массы растений, на пигментный и гормональный состав, на антиоксидантный потенциал и биосинтез вторичных метаболитов [5, 6, 7, 8]. Последние исследования в области защиты растений также выявили возможность подавления патогенной микрофлоры с помощью регулирования спектрального состава света [9].

Федеральный научный агронженерный центр ВИМ разрабатывает климатические камеры для выращивания растений разных видов и назначений. На рисунке 1 представлена климатическая камера стеллажного типа.

В своем составе имеет систему питания растений, систему освещения, интеллектуальную систему управления микроклиматом. Освещение растений осуществляется с

помощью светодиодных ламп. Интерфейс с пользователем осуществляется посредством сенсорной панели оператора с интуитивно понятным графическим отображением режимов работы. Уникальность системы управления заключается в наличии адаптивных рецептов выращивания культур в зависимости от вида и сорта. Система осуществляет информирование пользователя о необходимых процедурах, осуществляет обучение пользователя, обеспечивает простое управление, не требующее специализированных знаний в области агрономии.

Можно отметить следующие отличительные особенности:

- независимое поярусное автоматическое питание выращиваемых растений методом гидропоники по заданной программе;
- управление питанием растений по заданному алгоритму в соответствии с типом выращиваемой культуры и стадией роста;
- управление освещением по заданному алгоритму в соответствии с видом культуры и стадией роста;
- независимая вентиляция зон выращивания;
- газовое насыщение питательного раствора для стимуляции роста;
- имеет различные заложенные в систему автоматики программы управления контролируемыми параметрами в зависимости от вида выращиваемых растений;
- имеет заложенные в программу системы обучения и подсказки о проведении необходимых агротехнических процедур.

Количество посадочных мест составляет 90 единиц, расположенные на двух яруса. Объем емкости для питательного раствора – 70 литров. Уровень шума не превышает 45 Дб. Габаритные размеры модуля (ШхГхВ) составляют 1600x600x1600 мм, а масса не превышает 70 кг.

Следует отметить, что данный вид климатических камер помимо научно-исследовательских целей имеет еще несколько сфер применения:



Рис. 1. Климатическая камера стеллажного типа

Биотехнология растений

Бытовое применение. С ростом популярности здорового питания в среде мегаполисов, применение климатической камеры в виде автоматизированного модуля выращивания зеленных культур в домашних условиях, особенно актуально. События 2020 года, связанные с эпидемиологической ситуацией в мире, приведшей к самоизоляции населения, также способствуют повышению востребованности камер для бытового (домашнего) выращивания продукции растениеводства. Для северных регионов страны, с ограниченной транспортной доступностью, не имеющих возможности для круглогодичного выращивания свежей зелени в промышленных масштабах, данный тип автоматизированного модуля выращивания является единственным решением продовольственной проблемы.

Применение в образовательных целях. Климатическая камера может быть использована в учебных заведениях с целью закрепления знаний детей о сельском хозяйстве, наглядного уточнения и расширения знания о растениях и происхождении продуктов питания, понимания важности труда, формирования представлений о здоровом образе жизни, формирования первичных представлений о труде работников сельского хозяйства и их роли в обществе и жизни каждого человека, развития навыков коллективного труда и общения в процессе осуществления общих проектов.

Еще один вид климатической камеры предназначенный для проведения научно-исследовательских работ, разработанная в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ – модульная камера. (рисунок 2).

Ключевыми особенностями данной климатической камеры является наличие современной цифровой системы управления, обеспечивающей полностью автоматическое управление всеми параметрами роста растений в зависимости от типа выращиваемой культуры и фенологической

фазы роста. Модульность позволяет получить камеры разных размеров и конфигураций. Камера состоит минимум из одного модуля растворного узла и одного модуля выращивания. Количество модулей, подключаемых к растворному узлу может быть более 50 единиц. При соответствующем тиражировании модули выращивания образуют комплекс климатических камер выращивания различных культур в любых объемах. Передача информации между растворным узлом (или несколькими растворными узлами) осуществляется по беспроводному каналу связи с дальностью до 100 метров. Интерфейс с пользователем реализован посредством мобильного приложения на ОС Android с использованием Bluetooth связи. Габаритные размеры (ШхГхВ) модульной камеры, представленной на рисунке 2 составляют 600x500x600 мм. Потребляемая мощность на один модуль – 200 Вт. Кроме того, модульная камера снабжена системой светодиодного освещения с возможностью изменения спектрального состава света.

Описанные выше климатические камеры имеют систему поддержания заданной температуры с учетом параметров влажности воздуха, так называемую, эффективную температуру. Эффективная температура (ЭТ) – это один из биометеорологических индексов, характеризующий эффект воздействия на человека комплекса метеофакторов, таких как температура, влажность воздуха и скорость ветра через единственный показатель – так называемую эффективную температуру воздуха, другими словами ЭТ – это то значение температуры, которое должен иметь сухой воздух при штиле, чтобы оказывать на человеческий организм такое же воздействие, как и воздух, обладающий данной влажностью при данной скорости ветра [10]. Так как влажность воздуха влияет на режимы терморегуляции растений, имеющих способность к самостоятельному испарительному охлаждению, поддерживающему

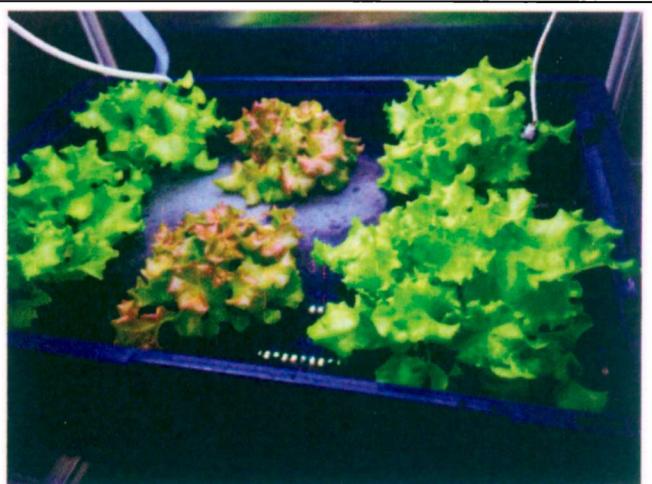


Рис. 2. Модульная климатическая камера

Биотехнология растений

самостоятельную температуру на оптимальном уровне с целью обеспечения максимальной продуктивности, необходимо использовать опыт, применяемый для человека и для растений – также живых биологических объектов. Для разработки этой модели был использован широкий ряд биометрических измерений, производившихся во многих странах с 1940 по 1995 годы. Модель эффективной температуры объединяет физиологические факторы тела и кожного покрова, а также метеорологические факторы окружающей среды [11]. На основе этой модели австралийским ученым Робертом Стедманом (Robert Steadman) была выведена формула для расчета эффективной температуры [12]:

$$T_{\text{Э}} = T_{\theta} + 2,124 \cdot \frac{H\varphi}{100} \cdot e^{\frac{17,27 \cdot T_{\theta}}{237,7 + T_{\theta}}} - 0,7 \cdot ws + \\ + 0,7 \cdot \frac{Q}{ws + 10} - 4,25, \quad (1)$$

где T_{θ} – температура сухой колбы, °C;

$H\varphi$ – относительная влажность воздуха, %;

ws – скорость метра, м/с;

Q – излучение, поглощаемое единицей площади поверхности, Вт/м².

Используя показатели ЭТ, климатические камеры поддерживают температуру воздуха на оптимальных заданных значениях, которые ощущаются растением как более стабильные, так как учитывают параметры сред: интенсивность излучения, влажность воздуха, скорость воздушного потока. В свою очередь стабильность «ощущений» растений напрямую влияет на производственные процессы в самом растении и повышает его продуктивность. Такого рода системы поддержания температурно-влажностных режимов в климатических камерах являются уникальными и ранее в замкнутых искусственных агрозоисистемах не применялись.

Выводы

Представленные в работе климатические камеры используются для проведения научно-исследовательских работ, а также могут применяться в учебных целях. Благодаря интеллектуальной системе управления в климатических камерах поддерживаются необходимые условия микроклимата, а система освещения на основе светодиодных источников света позволяет регулировать интенсивность и спектральный состав света и создавать условия, максимально приближенные к естественным. В модульных климатических камерах может использоваться один растворенный узел на несколько модулей, что уменьшает материальную стоимость конструкции и снижает стоимость всей системы. Используемые алгоритмы поддержания температуры воздуха в камерах с учетом характеристик влажности и интенсивности освещения повышают продуктивность растений.

Список литературы

1. Дорохов А.С., Старостин И.А., Чилингарян Н.О., Дорохов А.А. Состояние и перспективы развития овощеводства закрытого грунта в Российской Федерации // Аграрная Россия. 2019. № 10. С. 45–48.
2. Дорохов А.С., Гришин А.П., Гришин А.А. Принципы синергетики и эксгергетического моделирования для управления производственными процессами в закрытых искусственных агрозоисистемах (ЗИАЭС) // Научно-практический журнал Агротехника и энергообеспечение. Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Пахарина, 2019, № 3 (24), ISSN:2410-5031.
3. Larsen D.N., Woltering E.J., Nicole C.C.S., Marcelis L.F.M. Response of Basil Growth and Morphology to Light Intensity and Spectrum in a Vertical Farm / FRONTIERS IN PLANT SCIENCE. Vol. 11. № 597906. 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.597906.
4. Dou H.J., Niu G.H., Gu M.M., Masabni J. Morphological and Physiological Responses in Basil and Brassica Species to Different Proportions of Red, Blue, and Green Wavelengths in Indoor Vertical Farming / Journal of the American society for horticultural science. Vol. 145(4). 2020. Pp. 267–278. DOI: 10.21273/JASHS04927-20.
5. Nazir M., Ullah M.A., Younas M., Siddiquah A., Shah M., Giglioli-Guivarc'h N., Hano C., Abbasi B.H., Light-mediated biosynthesis of phenylpropanoid metabolites and antioxidant potential in callus cultures of purple basil (*Ocimum basilicum* L. var *purpurascens*) / Plant cell tissue and organ culture. 2020. Vol. 142 (1). Pp. 107–120. DOI: 10.1007/s11240-020-01844-z.
6. Litvin A., Currey C.J., Wilson L.A. Effects of Supplemental Light Source on Basil, Dill, and Parsley Growth, Morphology, Aroma, and Flavor / Journal of the American society for horticultural science. Vol. 145(1). 2020. Pp. 18–29. DOI: 10.21273/JASHS04746-19.
7. Meng Q.W., Runkle E.S. Far-red radiation interacts with relative and absolute blue and red photon flux densities to regulate growth, morphology, and pigmentation of lettuce and basil seedlings / Scientia horticulturae. 2019. Vol. 255. Pp. 269–280. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.05.030.
8. Matysiak B., Kowalski A. White, blue and red LED lighting on growth, morphology and accumulation of flavonoid compounds in leafy greens / Zemdirbyste-Agriculture. 2019. Vol. 106 (3). Pp. 281–286. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.036.
9. Radetsky L., Patel J.S., Rea M.S. Continuous and Intermittent Light at Night, Using Red and Blue LEDs to Suppress Basil Downy Mildew Sporulation. 2020. Vol. 55(4). Pp. 483–486. DOI: 10.21273/HORTSCI14822-19.
10. Погода в мире [Электронный ресурс]: Эффективная температура – Режим доступа: <http://www.hmn.ru>. Дата обращения 03.03.2021.
11. Карапеев Д.Ю. Эффективная температура как фактор, влияющий на электропотребление города // Современная техника и технологии. 2015. № 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.sciaksa.ru/2015/02/5728> (дата обращения: 11.09.2020).

Биотехнология растений

12. Robert G. Steadman: A Universal Scale of Apparent Temperature. // Journal of Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. N 12, 1674 p.

References

1. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Chilingaryan N.O., Dorokhov A.A. Sostoyanie i perspektivy razvitiya ovoshchovedstva zakrytogo grunta v Rossiyiskoy Federatsii [State and prospects for the development of indoor vegetable growing in the Russian Federation] // Agrarnaya Rossiya [Agrarian Russia]. 2019. N 10. Pp. 45–48.

2. Dorokhov A.S., Grishin A.P., Grishin A.A. Printsipy sinergetiki i ekspergicheskogo modelirovaniya dlya upravleniya produktionsnymi protsessami v zakrytykh iskusstvennykh agroekosistemakh (ZIAES) [Principles of synergetics and exergy modeling for the management of production processes in closed artificial agroecosystems (ZIAES)] // Nauchno-prakticheskiy zhurnal Agrotekhnika i energoobespechenie. Orlovskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni N. V. Parakhina [Scientific and practical journal Agrotechnics and energy supply. Oryol State Agrarian University named after N. V. Parakin]. 2019. N 3 (24), ISSN: 2410-5031.

3. Larsen D.N., Woltering E.J., Nicole C.C.S., Marcelis L.F.M. Response of Basil Growth and Morphology to Light Intensity and Spectrum in a Vertical Farm / FRONTIERS IN PLANT SCIENCE. Vol. 11. N 597906. 2020.

4. Dou H.J., Niu G.H., Gu M.M., Masabni J. Morphological and Physiological Responses in Basil and Brassica Species to Different Proportions of Red, Blue, and Green Wavelengths in Indoor Vertical Farming / Journal of the American society for horticultural science. Vol. 145 (4). 2020. Pp. 267–278.

5. Nazir M., Ullah MA, Younas M., Siddiquah A., Shah M., Giglioli-Guivarc'h N., Hano C., Abbasi BH, Light-mediated biosynthesis of phenylpropanoid metabolites and

antioxidant potential in callus cultures of purple basil (*Ocimum basilicum* L. var *purpurascens*) / Plant cell tissue and organ culture. 2020. Vol. 142 (1). Pp. 107–120.

6. Litvin A., Currey C. J., Wilson L. A. Effects of Supplemental Light Source on Basil, Dill, and Parsley Growth, Morphology, Aroma, and Flavor / Journal of the American society for horticultural science. Vol. 145 (1). 2020. Pp. 18–29.

7. Meng Q.W., Runkle E.S. Far-red radiation interacts with relative and absolute blue and red photon flux densities to regulate growth, morphology, and pigmentation of lettuce and basil seedlings / Scientia horticulturae. 2019. Vol. 255. Pp. 269–280.

8. Matysiak B., Kowalski A. White, blue and red LED lighting on growth, morphology and accumulation of flavonoid compounds in leafy greens / Zemdirbyste-Agriculture. 2019. Vol. 106 (3). Pp. 281–286.

9. Radetsky L., Patel J.S., Rea M.S. Continuous and Intermittent Light at Night, Using Red and Blue LEDs to Suppress Basil Downy Mildew Sporulation. 2020. Vol. 55 (4). Pp. 483–486.

10. Pogoda v mire [Weather in the world]. Electronic resource: Effective temperature – Access mode: <http://www.hmn.ru>. Date of treatment 03.03.2021.

11. Karandeev D.Yu. Effektivnaya temperatura kak faktor, vliyayushchiy na elektropotreblenie goroda [Effective temperature as a factor affecting the power consumption of the city] // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii [Modern equipment and technologies]. 2015. N 2 [Electronic resource]. URL: <http://technology.sciences.ru/2015/02/5728> (date accessed: 09/11/2020).

12. Robert G. Steadman: A Universal Scale of Apparent Temperature. // Journal of Applied Meteorology. 1984. Vol. 23. N 12. 1674 p.

Информация об авторах

Гришин Александр Петрович, д-р. техн. наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: 5145411@mail.ru

Гришин Андрей Александрович, канд. экон. наук, старший научный сотрудник

E-mail: 5145412@mail.ru

Семенова Наталья Александровна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

E-mail: natalia.86@inbox.ru

Гришин Владимир Александрович, младший научный сотрудник

E-mail: 5145409@bk.ru

Дорохов Артём Александрович, младший научный сотрудник

E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

ФГБНУ «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ»

109428, Российская Федерация, Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Степанов Михаил Викторович, доцент кафедры инженерной

и компьютерной графики

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Information about the authors

Grishin Alexander Petrovich, Dr. Sci. Techn., Leading Researcher
E-mail: 5145411@mail.ru

Grishin Andrey Aleksandrovich, Cand. Sci. Econom., Senior Researcher

E-mail: 5145412@mail.ru

Semenova Natalya Aleksandrovna, Cand. Sci. Agricult., Senior Researcher

E-mail: natalia.86@inbox.ru

Grishin Vladimir Aleksandrovich, Junior Researcher

E-mail: 5145409@bk.ru

Dorokhov Artem Aleksandrovich, Junior Researcher

E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5

Stepanov Mikhail Viktorovich, Associate Professor of the Department of Engineering and Computer Graphics

E-mail: stepanov@rgau-msha.ru

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

127550, Rossiyskaya Federatsiya, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49

Биотехнология растений

A.A. Гришин

канд. экон. наук, старший научный сотрудник

A.A. Смирнов

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

B.A. Гришин

младший научный сотрудник

A.A. Дорохов

младший научный сотрудник

N.O. Чилингарян

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ»

E-mail: narek-s@list.ru

Климатические камеры с системой управляемого фитооблучения для выращивания растений

В работе представлены климатические камеры, предназначенные для выращивания растений в промышленных масштабах. Также, климатические камеры получают широкое применение в селекционном процессе, где важно соблюдение микроклиматических условий и светового воздействия. Кроме того, проведение селекционного процесса в климатической камере позволяет сократить время выведения нового сорта растений за счет получения нескольких урожаев в год. Климатические камеры контейнерного типа предназначены для выращивания растений в условиях Крайнего Севера. Камеры, описанные в работе, разработаны и изготовлены в Федеральном научном агронженерном центре ВИМ.

Ключевые слова: гидропоника, промышленная климатическая камера, микроклимат, селекционная климатическая камера, фитооблучатели.

A.A. Grishin

Cand. Sci. Econom., Senior Researcher

A.A. Smirnov

Cand. Sci. Techn., Senior Researcher

V.A. Grishin

Junior Researcher

A.A. Dorokhov

Junior Researcher

N.O. Chilingaryan

Cand. Sci. Techn., Senior Researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

E-mail: narek-s@list.ru

Climatic chambers with a system of controlled phytoirradiation for growing plants

The work presents climatic chambers designed for growing plants on an industrial scale. Also, climatic chambers are widely used in the breeding process, where it is important to comply with microclimatic conditions and light exposure. In addition, carrying out the selection process in a climatic chamber reduces the time for breeding a new plant variety by obtaining several harvests per year. Container-type climatic chambers are designed for growing plants in the Far North. The chambers described in the work were developed and manufactured at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM.

Keywords: hydroponics, industrial climatic chamber, microclimate, selection climatic chamber, phytoirradiators.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1084

Согласно Прогнозу научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации, на период до 2030 года, в следующем 10-летии ожидается рост спроса на технологические решения получения продовольственного сырья в замкнутой, контролируемой среде в условиях городов [1]. В России 56 % граждан согласны переплачивать за экологически чистые продукты, готовы к повышенным тратам при покупке свежих,

незамороженных, необработанных продуктов – 51 %, продуктов без содержания генномодифицированных объектов – 46 % [2].

Для наращивания производства овощной продукции в городских условиях можно использовать складские помещения, производственные здания и транспортные контейнеры. Одним из примеров является крупнейшая в России и в мире вертикальная ферма компании «Русэко».

Биотехнология растений

расположенная в здании бывшей табачной фабрики в г. Москве. На площади 6,8 гектара ежедневно собирается до 25 тонн свежей зелени и микрозелени [3]. Такие фермы, как правило, оснащены светодиодным освещением, гидропонными системами, интеллектуальным контролем климата и датчиками мониторинга состояния растений. Вертикальный способ культивирования растений позволяет в некоторых случаях более чем в десять раз увеличить урожайность с единицы площади по сравнению с традиционными методами.

В условиях городского сельского хозяйства, когда земельные ресурсы ограничены и дороги, необходимо эффективно использовать каждый квадратный метр доступной площади, а качество получаемой продукции должно соответствовать самым высоким стандартам. Этим целям удовлетворяют климатические камеры, в которых возможно выращивать овощи в контролируемой среде круглый год [4, 5]. Производство овощей в черте города сократит расходы на логистику, позволит доставлять свежую продукцию потребителям в кратчайшие сроки.

Климатическая камера (рисунок 1) предназначена для селекционных задач, а также может быть использована для проведения экспериментальных исследований влияния микроклиматических параметров и светового воздействия на растения.

Габаритные размеры камеры – 2500x1600x1700 мм. В камере установлены фитооблучатели на основе светодиодных источников света. Влажность воздуха в камере регулируется в пределах 30–100%, а температурный режим составляет +18...+35 °С. Диапазоны значений регулирования влажности и температуры климатической камеры подходят для культивирования различных сельскохозяйственных культур (овощных, ягодных, декоративных, полевых), а габариты камеры позволяют выращивать растения высотой до 1,1,2 м (зеленые культуры, перцы, баклажаны, детерминантные сорта томатов и др.). Пофазная регуляция светового режима (интенсивности и спектрального

состава света) позволяет использовать данную камеру в целях подбора оптимальных световых параметров для конкретного вида и сорта, в том числе для получения продукции с заданными свойствами – функциональных продуктов питания, а также в целях селекции и семеноводства [6]. Данная климатическая камера может быть использована для ускоренного получения семян особо ценных сортов независимо от времени года и без необходимости в пространственной изоляции посадок (при условии размещения камер с различными сортами в разных помещениях). Удобное расположение дверей облегчает уход за посадками и позволяет контролировать рост и развитие растений по всему периметру камеры. В данной климатической камере возможно использование различных субстратов (почвенные смеси, минеральная вата, кокосовое волокно и др.), что немаловажно для проведения экспериментальных исследований и селекционных работ, приближенных к естественным условиям. Питание растений осуществляется через систему капельного полива, и, в зависимости от назначения камеры, предусмотрена возможность использования раздельных баков для питательных растворов (2–4 бака). Данная опция может быть использована для подбора доз компонентов растворов, испытания биологически активных веществ в качестве вспомогательных компонентов, для экологической оценки влияния добавляемых в раствор токсикантов и др.

Светодиодный фитооблучатель, установленный в климатической камере состоит из корпуса и съемной плоской крышки, изготовленных из алюминия (рисунок 1). На корпусе закреплен блок из четырех групп светодиодов (светодиодных модулей) с регулируемым спектром излучения. В корпусе имеется система теплоотвода, выполненная в виде канала, герметично закрытого крышкой и связанныго трубками с системой жидкостного охлаждения. Такая система охлаждения не оказывает существенного влияния на параметры микроклимата внутри климатической камеры. Суммарная максимальная мощность светодиодных

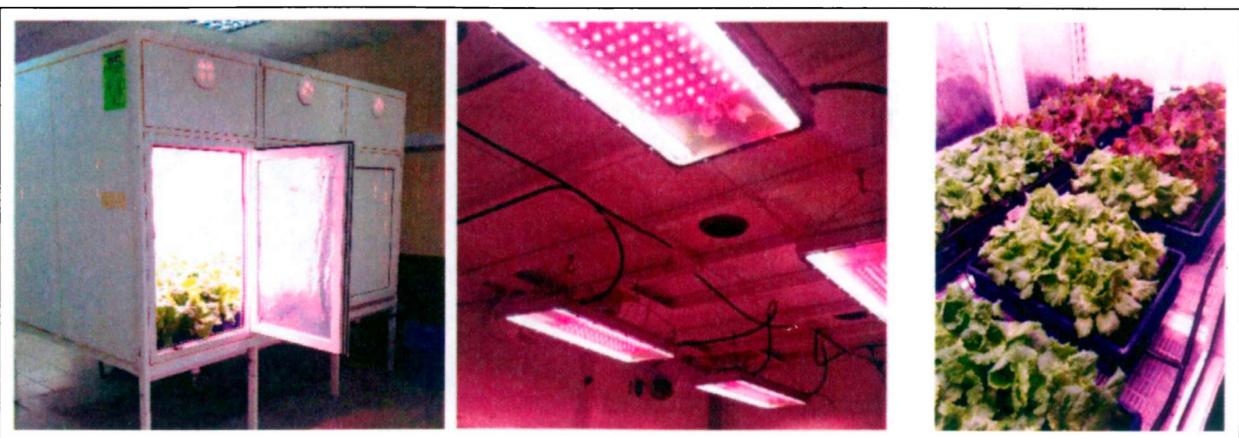


Рис. 1. Общий вид климатической камеры, фитооблучателей и растений салата

Биотехнология растений

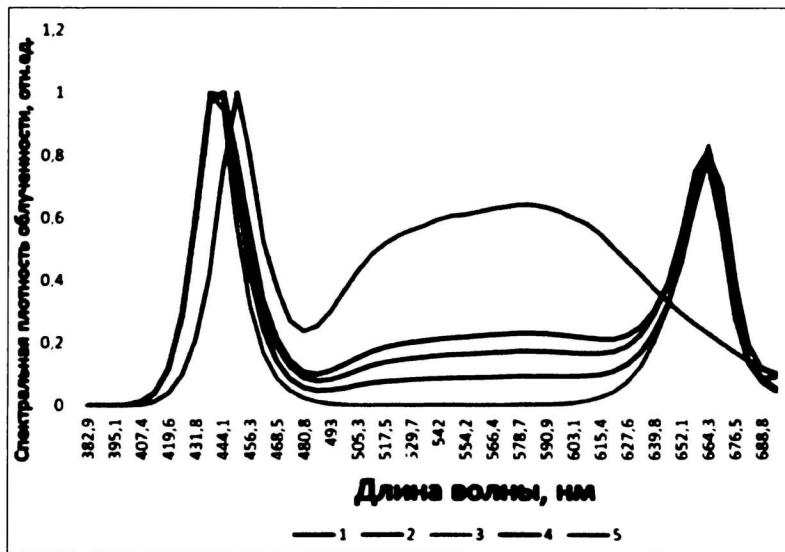


Рис. 2. Спектральный состав излучения фитооблучателя

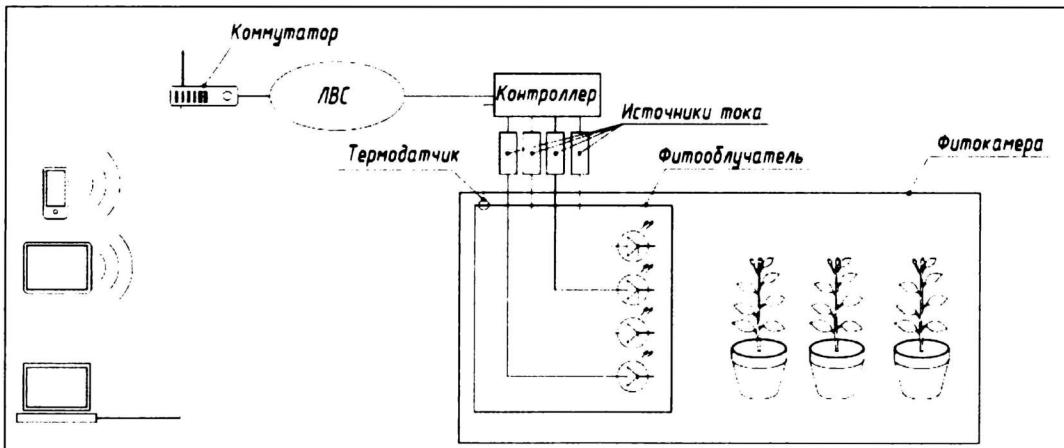


Рис. 3. Структурная схема системы фитооблучения климатической камеры



Рис. 4. Общий вид климатической камеры контейнерного типа, вид изнутри и фитооблучатель, установленный на стеллажной системе

Биотехнология растений

групп одного фитооблучателя составляет 300 Ватт. Спектральный состав излучения фитооблучателя в разных режимах работ представлен на рисунке 2 [7].

Фитооблучатель снабжен светодиодами белого диапазона цветовой температуры излучения 4000К, выполненными на основе кристаллов синего 440-460 нм, покрытых люминофором с максимумом переизлучения, происходит добавление зеленой области спектра 535-570 нм.

Регулировка тока от источника питания происходит посредством широтно-импульсной модуляции с частотой 500 Гц. Регуируемый источник питания позволяет изменять процент интенсивности излучения каждой группы светодиодов в пределах 0–100% по сигналу от контроллера. С помощью контроллера можно задавать различные режимы работы системы фитооблучения, контролировать параметры среды с возможностью записи в базу данных. Структурная схема системы фитооблучения представлена на рисунке 3.

Разработанный фитооблучатель с коммуникационной системой управления решает ряд задач, например, управление интенсивностью спектрального облучения посредством цифровой передачи данных с таких устройств, как ПК, планшет, телефон.

Использование фитооблучателя позволяет повысить энергоэффективность и надежность системы, урожайность и качество продукции за счет плавного регулирования интенсивности и спектрального состава излучения фитооблучателя, сформировать оптимальную световую среду для растений.

Климатическая камера контейнерного типа (рисунок 4) предназначена для выращивания ряда овощных и ягодных культур методом проточной гидропоники в условиях изолированного контейнера с поддержанием необходимых микроклиматических условий. Камера оборудована 8-ю лотками, каждый из которых можно освещать светодиодными облучателями различного спектрального состава, в соответствии с требованиями выбранных для выращивания культур. Одновременно в климатической камере возможно выращивание нескольких культур на 2-4 видах питательного раствора. Ассортимент овощных культур, пригодных для выращивания ограничивается только высотой полок и размерами лотков. Среди популярных культур, для выращивания в данной камере подходят зеленые и пряно-ароматические культуры (салат, шпинат, базилик, мелисса, мята, укроп, петрушка, горчица, руккола и др.), супердeterminate сорта томатов (Григорашик F1, Янтарный 530, Пигмей, Балконное чудо), ремонтантные сорта земляники садовой (Королева Елизавета II, Искушение, Альбион, Маэстро и др.).

Габаритные размеры (ДxШxВ) климатической камеры составляют 6058x2438x2591 мм, полезная высота – 2,1 м. Площадь посева может меняться в зависимости от количества ярусов, при двухуровневом размещении площадь составляет 10 м². Потребляемая мощность может меняться от 2 до 4 кВт в зависимости от условий эксплуатации (от -40 до +40°C). Несмотря на условия окружающей среды, температура в климатической камере регулируется и

может поддерживаться в пределах 15...35°C. Регулирование микроклиматических и световых параметров производится по аналогии с модульной климатической камерой (рисунок 1), где управление осуществляется интеллектуальной цифровой системой по разработанной программе [8].

Климатическая камера контейнерного типа оснащена фитооблучателями с двумя каналами управления спектральным составом света. Корпус фитооблучателя выполнен из алюминиевого сплава и имеет ребра охлаждения. В корпусе облучателя размещены платы с двумя группами светодиодов (рисунок 4). Для некоторых культур важно присутствие дальнего красного света [9]. Для экспериментальных исследований изготовлены несколько фитооблучателей с различными комбинациями светодиодов: красные 660нм + белые 4000К, синие 445нм + красные 630 и 660нм, белые 3000К + белые 4000К, синие 445нм + белые 4000К. Каждая группа светодиодов имеет возможность плавного регулирования мощности излучения в диапазоне 60–100% с помощью потенциометра.

Данная камера может быть использована в условиях Арктики для выращивания овощной продукции, в том числе листовых овощей, дорогостоящая транспортировка которых занимает длительное время и, соответственно, влечет потерю их качества.

Выводы

Для обеспечения продовольственной безопасности страны, получения продуктов с заданными свойствами, решения задач, связанных с селекцией растений не обойтись без закрытых искусственных агрокосистем для растениеводства. В последние годы набирают популярность «вертикальные фермы», небольшие гидропонные установки для бытового использования, способные обеспечить население крупных и удаленных территорий свежей листовой зеленью, также растет спрос на климатические камеры, способные поддерживать определенные микроклиматические условия для проведения экспериментальных исследований. Представленные в работе климатические камеры имеют широкие возможности для применения в промышленных условиях. Все камеры имеют возможность изменения интенсивности и спектрального состава света, а также интеллектуальную систему управления параметрами роста растений в зависимости от типа выращиваемой культуры и фенологической фазы роста.

Список литературы

1. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Утвержден Приказом Министерства сельского хозяйства РФ №3 от 12 января 2017 г.
2. Россияне дорожат своими продуктами / URL: <https://tomir.ru/> – Дата обращения 01.03.2021.
3. Сити-ферма «РусЭко». URL: <https://ruseco.ru>. Дата обращения 01.03.2021.

Биотехнология растений

4. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А., Семенова Н.А. Замкнутые цифровые искусственные агрокосистемы в овощеводстве. М., 2020. 184 с.
5. Семенова Н.А., Гришин А.А., Дорохов А.А. Анализический обзор климатических камер для выращивания овощных культур // Вестник НГИЭИ. 2020. № 1 (104). С. 5–15.
6. Меделяева А.Ю., Бухаров А.Ф., Трунов Ю.В. Сортимент овощных культур для создания продуктов питания функционального назначения. Мичуринский государственный аграрный университет, Федеральный научный центр овощеводства. Мичуринск-наукоград РФ. 2020. С. 159. ISBN: 978-5-94664-420-4.
7. Смирнов А.А., Прошкин Ю.А., Довлатов И.М., Соколов А.В., Качан С.А. Разработка фитооблучателей на основе светодиодов с настраиваемым соотношением спектра ФАР // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. № 4(33). С. 247–254.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ // Программа управления микроклиматом климатической вегетационной камеры контейнерного типа. RU 2019664891. Гришин А.А., Измайлов А.Ю., Гришин А.П., Дорохов А.С., Качан С.А., Гришин В.А., Дорохов А.А., Довлатов И.М. 2019.
9. Dorokhov A.S., Smirnov A.A., Semenova N.A., Akimova S.V., Kachan S.A., Chilingaryan N.O., Glinushkin A.P., Podkovyrov I.Yu. The effect of far-red light on the productivity and photosynthetic activity of tomato // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 663 (2021) 012044. DOI:10.1088/1755-1315/663/1/012044.
3. Siti-ferma «RusEko» [City-farm «RusEko»] / URL: <https://ruseco.ru/> - Date of treatment 03/01/2021.
4. Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A., Semenova N.A. Zamknutye tsifrovyye iskusstvennye agroekosistemy v ovoshchovedstve [Closed digital artificial agroecosystems in vegetable growing]. M., 2020. 184 p.
5. Semenova N.A., Grishin A.A., Dorokhov A.A. Analiticheskiy obzor klimaticheskikh kamер dlya vyashchivaniya ovoshchnykh kultur [Analytical review of climatic chambers for growing vegetable crops] // Vestnik NGIEI. 2020. N 1 (104). Pp. 5–15.
6. Medelyaeva A.Yu., Bukharov AF, Trunov Yu.V. Sortiment ovoshchnykh kultur dlya sozdaniya produktov pitaniya funktsionalnogo naznacheniya. Michurinskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, Federalnyy nauchnyy tsentr ovoshchovedstva. Michurinsk-naukograd RF [An assortment of vegetables for the creation of functional food products. Michurinsk State Agrarian University, Federal Scientific Center for Vegetable Growing. Michurinsk-Science City of the Russian Federation]. 2020. Pp. 159. ISBN: 978-5-94664-420-4.
7. Smirnov A.A., Proshkin Yu.A., Dovlatov I.M., Sokolov A.V., Kachan S.A. Razrabotka fitoobluchateley na osnove svetodiodov s nastraivaemym soomoshcheniem spektra FAR [Development of phyto-irradiators based on LEDs with adjustable PAR spectrum ratio] // Innovatsii v selskom khozyaystve [Innovations in agriculture]. 2019. N 4 (33). Pp. 247–254.
8. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM [Certificate of state registration of a computer program] // Programma upravleniya mikroklimatom klimaticheskoy vegetatsionnoy kamery konteyernogo tipa. RU 2019664891. Grishin A.A., Izmaylov A.Yu., Grishin A.P., Dorokhov A.S. Kachan S.A., Grishin V.A., Dorokhov A.A., Dovlatov I.M. [Microclimate control program for a container-type climatic growing chamber. RU 2019664891. Grishin A.A., Izmailov A.Yu., Grishin A.P., Dorokhov A.S. Kachan S.A., Grishin V.A., Dorokhov A.A., Dovlatov I.M.]. 2019.
9. Dorokhov A.S., Smirnov A.A., Semenova N.A., Akimova S.V., Kachan S.A., Chilingaryan N.O., Glinushkin A.P., Podkovyrov I.Yu. The effect of far-red light on the productivity and photosynthetic activity of tomato // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 663 (2021) 012044.

References

1. Prognoz nauchno-tehnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossiyiskoy Federatsii na period do 2030 goda. Utverzhden Prikazom Ministerstva selskogo khozyaystva RF №3 ot 12 yanvarya 2017g. [Forecast of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. N 3 dated January 12, 2017].
2. Rossiyanе dorozhat svoimi produktami [Russians value their products] / URL: <https://romir.ru/> - Date of treatment 03/01/2021.

Информация об авторах

Гришин Андрей Александрович, канд. экон. наук, старший научный сотрудник
E-mail: 5145411@mail.ru

Смирнов Александр Анатольевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
E-mail: alexander8484@inbox.ru

Гришин Владимир Александрович, младший научный сотрудник
E-mail: 5145412@mail.ru

Дорохов Артём Александрович, младший научный сотрудник
E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

Чилингярян Нарек Овикович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ»
109428, Российская Федерация, Москва, 1-й Институтский проезд, 5
E-mail: narek-s@list.ru

Information about the authors

Grishin Andrey Aleksandrovich, Cand. Econom. Sci., Senior Researcher
E-mail: 5145411@mail.ru

Smirnov Alexander Anatolyevich, Ph.D., Senior Researcher
E-mail: alexander8484@inbox.ru

Grishin Vladimir Aleksandrovich, Junior Researcher
E-mail: 5145412@mail.ru

Dorokhov Artem Alexandrovich, Junior Researcher
E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

Chilingaryan Narek Ovikovich, Ph.D., Senior Researcher
Federal Scientific Agroengineering Center VIM
109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky proezd, 5
E-mail: narek-s@list.ru

Биотехнология растений

А.А. Эрст

канд. биол. наук, ст. н. с.

Е.В. Банаев

д-р биол. наук, гл. н. с.

ФГБУН Центральный сибирский

ботанический сад СО РАН

г. Новосибирск, Российская Федерация

Сохранение и размножение

в культуре *in vitro* декоративных

форм тополя селекции ЦСБС СО

РАН

Разработаны и оптимизированы методики размножения *in vitro* гибридов тополя селекции ЦСБС – тополь Сибирский серебристый №4, №7, №12 (*P. alba* × *P. bollleana*), гибрид №2 (*C₀(P. nigra) × P. pyramidalis*), т. Стройный №18/4 (*C₀(P. nigra) × P. pyramidalis*), полигибрид SL-1 (*P. suaveolens* 17/5 × *P. laurifolia* 6/9), гибрид № 10/1 (т. Подмосковный × *P. suaveolens*) и гибрид №21 (*P. balsamifera* × *P. pyramidalis*). Определены типы эксплантов и питательные среды для прямого и непрямого путей морфогенеза. Показано, что для развития по прямому пути экспланты на начальных этапах необходимо культивировать на среде с повышенным содержанием БАП, а после заложения адVENTИTИвных побегов – на средах с низким содержанием цитокинина. Для непрямого геммогенеза оптимальными являются среда N₆4, при этом решающую роль в развитии заложившихся почек играет ГК₃, и среда MS12. Полученные прямым и непрямым путем микропобеги успешно укоренили на среде MS с редуцированным вдвое содержанием минеральных элементов. Разработанные методики размножения *in vitro* дают возможность сохранять уникальные генотипы и позволяют получать в необходимом количестве посадочный материал декоративных форм тополя.

Ключевые слова: *Populus*, гибриды, клonalное микроразмножение, морфогенез, коллекции, сохранение генофонда.

A.A. Ernst

Cand. Sci. Biol., Senior Researcher

E.V. Banaev

Dr. Sci. Biol., Chief Researcher

Central Siberian Botanical Garden, SB Russian

Academy of Sciences

Novosibirsk, Russian Federation

In vitro conservation and propagation of ornamental forms of poplar selected by the Central Siberian Botanical Garden SB RAS

Methods of *in vitro* propagation of poplar hybrids selected by the CSBG - Siberian silver poplar No. 4, No. 7, No. 12 (*P. alba* × *P. bollleana*), hybrid No. 2 (*P. nigra* × *P. pyramidalis*), Stroyny No. 18 / 4 (*C₀(P. nigra) × P. pyramidalis*), polyhybrid SL-1 (*P. suaveolens* 17/5 × *P. laurifolia* 6/9), hybrid No. 10/1 (p. Podmoskovny × *P. suaveolens*) and hybrid No. 21 (*P. balsamifera* × *P. pyramidalis*) were developed and optimized. It was shown that for direct morphogenesis, explants at the initial stages should be cultivated on a medium with an increased BAP concentration, and after the establishment of adventitious shoots, on media with a low cytokinin content. For indirect gemmogenesis, the N₆4 environment is optimal, while GA₃ plays a decisive role for the development of shoots. Microshoots obtained by direct and indirect methods were successfully rooted on MS medium with a half-reduced content of mineral elements. The developed methods of *in vitro* propagation make it possible to conserve unique genotypes and to obtain planting material of ornamental poplar forms in the required amount.

Keywords: *Populus*, hydrides, clonal micropagation, morphogenesis, collection, gene pool conservation.

DOI: 10.25791/BBGRAN.01.2021.1085

Введение

Тополь (*Populus* L.) занимает одно из ведущих мест среди древесных пород в озеленении сибирских городов. Это объясняется наличием целого ряда полезных биологических свойств, таких как быстрый рост, экологическая пластичность, сравнительно высокая газоустойчивость [1]. Однако ассортимент видов и форм тополя, используемых в озеленении городов Сибири, очень беден. Возможность расширения ассортимента за счет аборигенных

растений невелика в силу ограниченности видового разнообразия, многие интродукенты – не зимостойкие и часто поражаются возбудителями грибных болезней. В этой связи, появилась необходимость проведения селекционной работы с тополем с целью создания новых зимостойких и хозяйствственно ценных клонов, пригодных для культивирования в Сибири. В ЦСБС СО РАН селекция тополя ведется с 1970 г. с применением методов межвидовой гибридизации и экспериментальной полипloidии. Главным научным сотрудником лаборатории дендрологии, д.б.н.

Биотехнология растений

В.Т. Бакулиным было проведено 25 комбинаций межвидового скрещивания [2]. В качестве исходного материала были использованы, прежде всего, сибирские виды, обладающие высокой зимостойкостью: *P. alba* L., *P. canescens* (Aiton) Sm., *P. nigra* L. (Западная Сибирь, пойма р. Обь), *P. suaveolens* Fisch. (Восточная Сибирь), *P. laurifolia* Ledeb. (Республика Тыва) и тополь Горноалтайский № 2 селекции З.И. Лучник (1970). Из инорайонных видов были привлечены *P. balsamifera* L., *P. berolinensis* Dippel, *P. pyramidalis* Rozier, *P. bolleana* Lauche и два сорта селекции А.С. Яблокова (1962) – т. Русский и т. Подмосковный.

Одним из эффективных способов размножения и сохранения перспективных форм древесных растений является метод клonalного микроразмножения. Для видов тополя, имеющих трудности при размножении стеблевыми черенками (секция Leuce), методы культуры тканей *in vitro* стали альтернативой традиционным методам размножения. Но и для легко укореняемых видов, применение методов *in vitro*, является предпочтительным, так как позволяет увеличить скорость воспроизведения, снизить стоимость посадочного материала и решить проблему размножения конкретных генотипов [3].

В данном исследовании приведены методики размножения *in vitro* восьми перспективных для озеленения сибирских городов гибридов тополя селекции ЦСБС.

Материалы и методы

Объектами наших исследований послужили быстрорастущие, зимостойкие, декоративные гибриды тополя селекции В.Т. Бакулина (рис. 1): тополь Сибирский серебристый №4, №7, №12 (*P. alba* × *P. bolleana*), гибрид №2 (C_0 (*P. nigra* × *P. pyramidalis*)), т. Стройный №18/4 (C_0 (*P. nigra* × *P. pyramidalis*)), полигибрид SL-1 (*P. suaveolens* 17/5 × *P. laurifolia* 6/9), гибрид № 10/1 (т. Подмосковный × *P. suaveolens*) и гибрид №21 (*P. balsamifera* × *P. pyramidalis*).

Тополь Сибирский серебристый №7 получен в 1980 г. от скрещивания *P. alba* × *P. bolleana*. Дерево мужского пола с прямым стволом и пирамидальной кроной. Кора на стволе светло-серая. Растет быстро. В 6 лет высота его 7,2 м, диаметр ствола 8,5 см, в 20 лет соответственно 18,5 м и 31,2 см. Укореняемость зимних стеблевых черенков 53%. Зимостойкость – I балл по шкале ГБС РАН. Не поражается ржавчиной [4].

Тополь Сибирский серебристый №12 получен в 1980 г. от скрещивания *P. alba* × *P. bolleana*. Характеризуется быстрым ростом среди гибридов этой семьи. В 6 лет высота – 7,4 м, в 20 лет – 20,6 м. Стойкое декоративное дерево с прямым стволом и узкой кроной. Используется для озеленения. Зимостоек, относительно засухо- и газоустойчив, светолюбив. В благоприятных условиях укоренение зимних стеблевых черенков в открытом грунте максимально достигает 65% [4]. Экспериментально установлено, что в процессе вегетации листья тополя Сибирского серебристого проявляют высокую антимикробную активность [5]. Выявлена также антимикробная активность масляных экстрактов его почек в отношении четырех штаммов микроорганизмов, являющихся возбудителями распространенных инфекционных заболеваний. Поэтому гибрид представляет интерес не только для зеленого строительства, но и как потенциальный источник сырья для получения новых антимикробных препаратов [6].

Тополь Сибирский серебристый № 4 получен в 1980 г. от той же комбинации скрещивания, что и Сибирский серебристый № 12. Обладает сходными свойствами, но отличается более интенсивным серебристым опушением листьев. В 20 лет высота 22 м. Укореняемость зимних стеблевых черенков невысока – около 50% [4].

Гибрид №2 получен в 1985 г. от свободного опыления полиплоидной формы C_0 (*P. nigra* × *P. pyramidalis*) №16/18. Диплоид ($2n=38$). Растет умеренно, годичный прирост по высоте составляет 0,7–0,8 м, но весьма декоративен благодаря прямому стволу и узкой кроне, состоящей из тонких ветвей. Вегетативные почки распускаются во второй декаде мая, листья опадают в конце сентября – начале октября. Не цветет. Зимостоек, светолюбив, устойчив к ржавчине, хорошо размножается зимними стеблевыми черенками, укоренение которых достигает 95–100%. Относительно засухоустойчив [7].

Тополь Стойкий № 18/4 получен в 1981 г. от свободного опыления полиплоидной формы C_0 (*P. nigra* × *P. pyramidalis*). Декоративное дерево с прямым стволом и очень узкой кроной. В 7 лет высота 8,4 м, в 20 лет – 20 м.

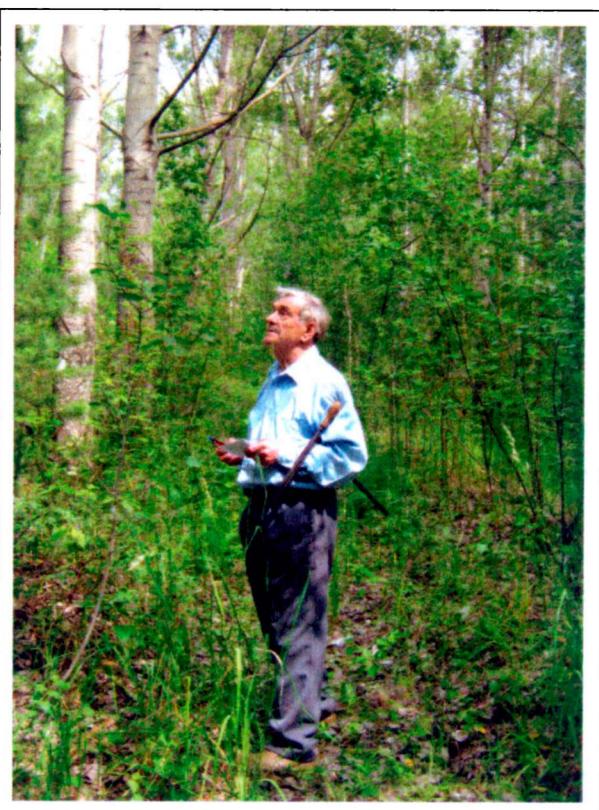


Рис. 1. Д.б.н. В.Т. Бакулин (июнь 2012 г., интродукционный участок ЦСБС). Фото: А.С. Эрст

Биотехнология растений

Обладает высокой полевой устойчивостью к ржавчине и пятнистости листьев [7].

Полигибрид SL-1 получен в 1980 г. от контролируемого скрещивания двух тетрапloidных форм $C_0 P. suaveolens$ 17/5 \times $P. laurifolia$ 6/9. Представляет собой миксоплоид с преобладанием клеток с тройным набором хромосом ($2n=57$). Ствол дерева прямой, крона широкая, мощная. Пол женский. По энергии роста он значительно превосходит родительские компоненты. В 20 лет высота его 24 м, диаметр ствола 40 см. Волокна либриформа характеризуются увеличенным размером. Длина их в 20-летнем годичном слое равна 1317.9 ± 15.8 мкм. Зимостоек, хорошо размножается зимними стеблевыми черенками. Укоренение которых достигает 85% [8].

Гибрид № 10/1 получен в 1971 г. от контролируемого скрещивания т. Подмосковный \times $P. suaveolens$. Стойное дерево с прямым стволом и компактной кроной, состоящей из сравнительно тонких (2–3 см) ветвей. В 16 лет высота 16 м, в 36 лет – 23 м [8].

Гибрид № 21 получен в 1971 г. от скрещивания $P. balsamifera$ \times $P. pyramidalis$. Растет быстро, в 20 лет высота 21 м. Цветет с 7 лет, пол мужской. Светолюбив, устойчиво выдерживает засушливые периоды лета. В суровые зимы частично подмерзает верхушка осевого побега. Укоренение зимних стеблевых черенков достигает 98%. Крону пирамидальная [9].

Работу по клonalному микроразмножению проводили в лаборатории биотехнологии ЦСБС СО РАН с 2011 по 2020 гг. по общепринятым методикам и методикам клonalного микроразмножения тополя, разработанным авторами [10–14].

Растительный материал был взят в два сезона – апрель-март и ноябрь 2011 и 2015–2016 гг. Однолетние и двулетние побеги гибридов были срезаны с молодых (5–15 лет) деревьев второго вегетативного поколения, выращенных на территории ЦСБС. Исходными эксплантами служили пазушные почки и молодые листья, полученные после выгонки побегов. Было испытано два варианта ступенчатой

Таблица 1. Варианты питательных сред с минеральной основой МС

Компоненты	Ед. изм.	Концентрация	Варианты												
			MS1	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6	MS7	MS8	MS9	MS10*	MS11	MS12	MS13
БАП	мкМ	0,5					*								
		1	*	*	*	*		*							
		5						*							*
		7							*						
		8								*					
		10									*				
КН	мкМ	1,25											*		
ТДЗ	мкМ	5												*	
ГК ₃	мкМ	5				*					*	*			*
2,4-Д	мкМ	5		*	*										
НУК	мкМ	0,3							*						
		0,5						*							
		1					*								
ИУК	мкМ	1,25											*		
ГКаз	г	1		*	*										
		0,2						*				*			
АК	г	0,1									*	*			
КВ	г	50				*									*

Примечание: 2,4-Д – 2,4-дихлорфеноксикусусная кислота; АК – аскорбиновая кислота; БАП – 6-бензиламинопурин; ГК₃ – гибберелловая кислота; ГКаз – гидролизат казеина; ЗН (зеатин) – 6-(4-гидрокси-3-метилбут-2-еноламино) пурин; ИМК – β -индолилмасляная кислота; ИУК – β -индолилкусусная кислота; КВ – кокосовая вода; КН (кинетин) – 6-фуриламиноуридин; НУК – α -нафтилкусусная кислота; ТДЗ – тиодиазурон; * – использована минеральная основа 1/2МС.

Биотехнология растений

поверхностной стерилизации: 1) 0,1% раствор сульфохлортина (10 мин.), затем 70% этанол (3 сек.) и 0,1% раствор суплемы (20 мин.); 2) 70% этанол (3 сек.), затем 0,1% раствор суплемы (30 мин.). По окончанию стерилизации растительный материал трижды промывали стерильной дистиллированной водой. С почек удаляли все покровные чешуи и часть листьев, оставляя два, наиболее глубоко расположенных листочка и помещали экспланты на питательную среду.

Среды для культивирования. Испытаны различные составы питательных сред: MS [15], W [16], N₆ [17], ACM [18]. Среды содержали 3% сахарозу (для ACM 2%) и 0,6% агар (Disco, USA). Автоклавирование среды проводили при 121°C в течение 20 мин, pH среды доводили до 5,8 (для ACM 5,6). Минеральные основы дополняли различными регуляторами роста и физиологически активными добавками (табл. 1, 2). Экспланты культивировали в следующих условиях: фотопериод – 16/8 часов свет/темнота, освещенность – 2–3 кЛк, температура – 24±1°C или в термостате при 26±1°C в темноте.

Каллус получали из молодых стерильных листочков, полученных после выгонки побегов. Для этого молодые листья делили на части и помещали горизонтально адаксиальной стороной на питательные среды.

Для укоренения полученных микропобегов использовали ½ МС или ½ МС, дополненная 5 мкМ ИМК.

Для адаптации растений-регенерантов использовали контейнеры с пластиковыми прозрачными крышками в целях создания повышенной влажности воздуха. Почвенная смесь – песок:торф:садовая почва в соотношении 1:2:2. Адаптированные растения высаживали на интродукционный участок ЦСБС СО РАН.

Наблюдение и учет результатов. Все эксперименты проводили в 2–3 повторностях. Статистическую

обработку результатов осуществляли путем расчетов с использованием пакета статистического анализа приложения Microsoft Excel. В таблицах показаны средние арифметические величины и доверительные интервалы. Доверительность оцениваемых показателей принимали на уровне значимости P<0,05. Морфологические наблюдения проводили с использованием микроскопа Stereo Discovery V 12 (Carl Zeiss, Germany).

Результаты

Введение в культуру *in vitro* и размножение

Приемы поверхностной стерилизации показали свою эффективность на 85–100% для всех изучаемых гибридов.

Тополь Сибирский серебристый №4, №7, №12 (P. alba×P. bolleyana)

Через две недели культивирования почки т. Сибирского серебристого №4, №7, №12 проявили ответ на средах для введения в культуру *in vitro* – MS4 и MS11. На данных средах наблюдали распускание почек, рост побегов и развитие пазушных почек на побегах. Далее микропобеги разделяли и пересаживали на питательные среды для размножения – MS4, MS7, MS8, MS9, MS10, MS11, MS13. Оптимальной средой для побегообразования гибридов оказалась среда МС11. Регенерация составила 100% для всех изучаемых гибридов, коэффициент размножения – 6,0±1,2 для №4, 6,6±2,1 для №7 и 8,4±1,2 шт./ экспл. для №12. Нами показано, что использование концентрации БАП 5 мкМ и выше эффективно только при условии чередования сред с высоким и низким содержанием цитокинина или использовании безгормональных сред. Так, культивирование гибрида №12 на среде MS7 с последующей

Таблица 2. Варианты питательных сред с минеральной основой N₆, W и ACM

Компоненты	Ед. изм.	Концентрация	Варианты						
			N ₆ 1	N ₆ 2	N ₆ 3	N ₆ 4	W1	W2	ACM1
БАП	мкМ	0.75						*	
		2							*
ЗН	мкМ	5				*			
		25			*				
КН	мкМ	50		*					
		2.5	*						
ГК ₃	мкМ	5					*		
		10				*			
2,4-Д	мкМ	50			*				
		0.2					*		
СА	мг	10	*						
		20							*

Примечание: СА – сульфат аденина.

Биотехнология растений

пересадкой на MS без регуляторов роста позволило получить коэффициент размножения 8.8 ± 2.4 и высоту побегов 13.7 ± 2.2 мм.

Каллусообразование наблюдали через 20 дней культивирования листовых эксплантов на средах MS2, MS3, N₆1 и W1. Длительное культивирование тополя Сибирского серебристого №12 на среде с 2,4-Д снижало показатели морфогенеза до 10%. В связи с этим в настоящем исследовании питательные среды, содержащие 2,4-Д, применялись только на первом пассаже, дальнейшее культивирование каллусов проводили на средах для органогенеза – MS1, MS4 – MS13, N₆2 – N₆4 и W2 в условиях фотопериода. Такой прием позволил получить морфогенную каллусную культуру (плотная консистенция, зеленая окраска) (рис. 2 А, Б). На средах MS12 и N₆2 возможно длительное поддержание каллусных культур без потери морфогенности, но развитие побегов на данных средах не происходит. Нами отмечено, что рост побегов происходит только при добавлении в питательную среду N₆, совместно с ЗН, ГК₃ – среды N₆3 и N₆4. На среде N₆3 для гибрида №4 регенерация составила 25%, коэффициент размножения 5.3 ± 1.4 шт./экспл., для №12 соответственно 15% и 4.5 ± 2.0 шт./экспл. Для гибрида №12 также показано, что для инициации побегообразования из морфогенной каллусной культуры эффективными были среды MS6 и MS14. Регенерация составила 74%, коэффициент размножения 5.4 ± 1.6

шт./экспл. (рис. 2 В). В то время как на среде MS5 наблюдалась только ризогенез. Поэтапное культивирование каллусной культуры гибрида №12 на средах N₆2, N₆4, а затем на среде ACM1 увеличило регенерацию до 85%. коэффициент размножения составил 6.1 ± 1.0 шт./экспл.

Питательная среда ACM1 была испытана для инициации побегообразования на листовых эксплантах гибрида №12 размноженных на среде MS1 микропобегов. Наблюдали разрастание тканей эксплантов и адвентивное побегообразование. Регенерация составила 95%, коэффициент размножения 8.9 ± 1.9 шт./экспл., высота растений 11.9 ± 1.8 мм (рис. 2 Г).

Гибрид №2 (C_o (P. nigra × P. pyramidalis) и т. Стройный №18/4 (C_o (P. nigra × P. pyramidalis)

На средах для введения в культуру *in vitro* MS7 и MS11 у тополя Стройного развивались адвентивные побеги у основания почки (рис. 2 Д). Регенерация составила 80%, коэффициент размножения 15.4 ± 2.0 шт./экспл. У гибрида №2 морфогенного ответа на средах для введения в культуру не наблюдали. Полученные микропочки тополя Стройного далее культивировали на средах для размножения – MS4, MS7, MS8, MS9, MS10, MS11, MS13. На всех испытанных средах отмечали постепенную гибель эксплантов.

Каллусную культуру листовых эксплантов гибрида т. Стройного получили на средах MS2, MS3, N₆1, W1. Далее каллусы пересаживали на питательную среду для

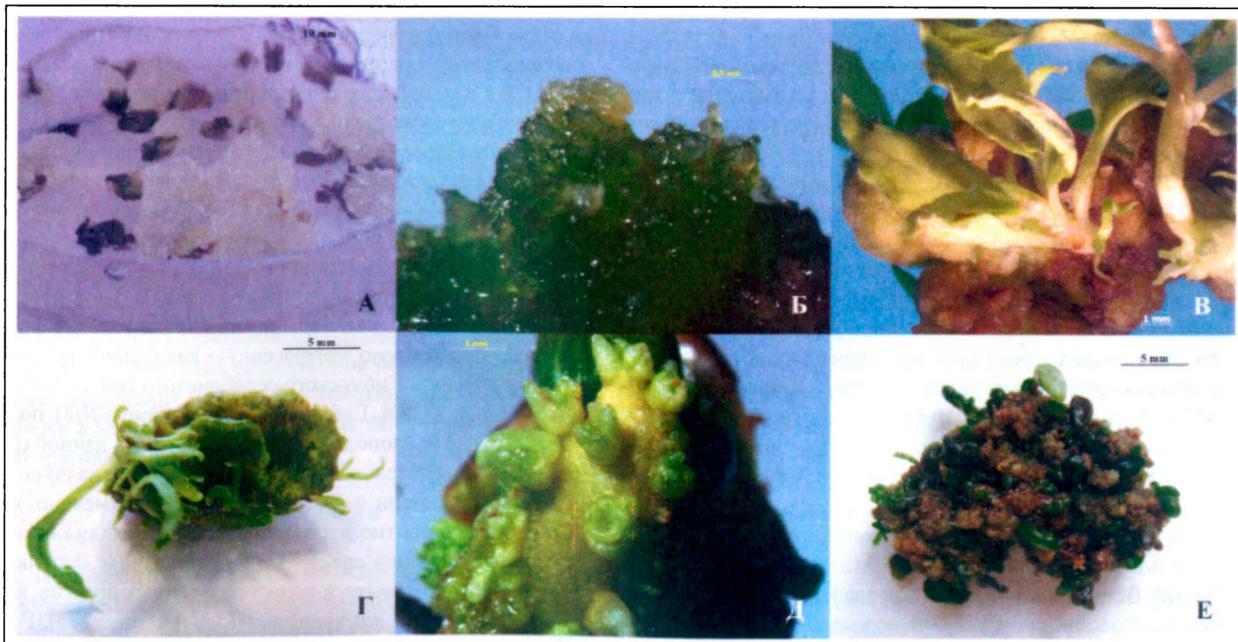


Рис. 2. Морфогенез в культуре *in vitro* гибридов *Populus*: А – Неморфогенный каллус тополя Сибирского серебристого №12 на питательной среде MS2; Б – Морфогенный каллус тополя Сибирского серебристого №4 на среде N₆4; В – Непрямой геммогенез тополя Сибирского серебристого №7 на среде MS14; Г – Прямой геммогенез на листовом экспланте тополя Сибирского серебристого №12 на среде ACM1; Д – Прямой геммогенез в основании почки тополя Стройного 18/4 на среде MS7; Е – Непрямой геммогенез гибрида №21 на среде MS6

Биотехнология растений

органогенеза – N₆3 и N₆4 в условиях фотопериода. На свету они приобрели зеленую и зелено-красную окраску. Регенерация составила 10%, коэффициент размножения 3,5±1,6 шт./экспл.

Для инициации каллусообразования гибрида №2 использовали MS2, затем образовавшийся каллус переносили на среду с ТДЗ – MS12 для инициации органогенеза. Для инициации побегообразования применяли среду MS14. На данной среде регенерация составила 20%, коэффициент размножения 3,4±0,9 шт./экспл.

Полигибрид SL-1 (*P. suaveolens* 17/5×*P. laurifolia* 6/9) и Гибрид № 10/1 (*t. Подмосковный*×*P. suaveolens*)

Пазушные почки Полигибрида SL-1 и Гибрида № 10/1 не проявили морфогенного ответа на средах для введения в культуру – MS4, MS7, MS11.

Каллусную культуру листовых эксплантов Гибрида № 10/1 получили на средах MS2, MS3, N₆1, W1. Дальнейшее культивирование каллусов проводили на средах для органогенеза – MS1, MS4 – MS13, N₆2 – N₆4, W2 в условиях фотопериода. На свету они приобрели зеленую и зелено-красную окраску. На средах MS13 и W2 наблюдали заложение меристематических очагов, но дальнейшего развития побегов на данных средах не происходило. На среде N₆4 наблюдали формирование плотного зеленого каллуса с меристематическими очагами и развитие побегов.

Для инициации каллусообразования Полигибрида SL-1 использовали среду MS2, затем образовавшийся каллус переносили на среду с ТДЗ – MS12. Для инициации побегообразования применяли среду MS14. Регенерация составила 100%, коэффициент размножения 7,5±1,6 шт./экспл. Дальнейшее культивирование Полигибрида SL-1 проводили на средах с пониженной концентрацией цитокининов – MS6. Использование питательных сред с концентрацией цитокининов выше 1 мкМ приводила только к каллусообразованию.

Гибрид №21 (*P. balsamifera* × *P. pyramidalis*)

Пазушные почки не проявили морфогенного ответа на средах для введения в культуру – MS4, MS7, MS11.

Каллусную культуру листовых эксплантов получили на среде MS2. Далее каллусы переносили на среду N₆4 для получения морфогенного каллуса. Инициацию побегообразования и рост побегов наблюдали на средах MS5 и MS6. Регенерация на данных средах составила 100%, коэффициент размножения 10,6±1,8 шт./экспл. (рис. 2 Е).

Укоренение и адаптация к условиям *ex vitro*

В наших исследованиях для укоренения микропобегов использованы среды ½ MS и ½ MS, дополненную ИМК 5 мкМ. Все изучаемые гибриды рода *Populus* проявили высокую способность к укоренению на данных средах (94–100%). На среде с ИМК ризогенез происходил быстрее, но при этом у части микропобегов наблюдали развитие каллуса. Поэтому безгормональная среда выбрана как оптимальная для стадии укоренения. Период адаптации составил 3 недели, выход адаптированного жизнеспособного растительного материала – 90%.

Обсуждение

Известно, что для заложения меристематических очагов и развития побегов, необходимо присутствие в питательной среде экзогенных регуляторов роста цитокининовой природы. Широкий спектр цитокининов (БАР, ЗН, КН, ТДЗ, 2-изопентиладенин (2-iP) индуцируют побегообразование представителей р. *Populus*. Оптимальные концентрации варьируют для каждого цитокинина [19–21]. Например, для БАР и ЗН наибольший морфогенный ответ эксплантов тополя отмечен при концентрации 1–4 мкМ и 1–5 мкМ соответственно [20]. ТДЗ вызывает морфогенный ответ при низких концентрациях (0,05–2 мкМ), в то время как КН и 2-iP в целом вызывают слабый морфогенный ответ эксплантов тополя [19].

Нами показано, что при введении в культуру *in vitro* пазушных почек у тополя Стройного развивались адвентивные побеги у основания почки (15,4 шт/экспл), у тополя Сибирского серебристого №4, №7, №12 происходили рост и развитие заложенных в почке пазушных меристем. Для остальных гибридов тополей использование пазушных почек для введения в культуру *in vitro* оказалось неэффективным приемом. На испытанных питательных средах не наблюдали морфогенного ответа эксплантов.

Среда MS, дополненная БАР 5 мкМ и ГКз 200мг/л выбрана нами как универсальная на этапе введения почек в культуру *in vitro*, однако дальнейшее культивирование эксплантов на данной среде оказывало негативное влияние на показатели роста и развития. Наши данные свидетельствуют, что для заложения адвентивных почек и стимуляции развития пазушных почек на этапе введения в культуру *in vitro* необходимы высокие концентрации БАР. Для дальнейшего роста и развития почек необходимо культивировать экспланты на средах того же состава, но с уменьшенным в 5 раз содержанием цитокининов. Для других представителей рода *Populus* показано, что высокие уровни БАР, ЗН и ТДЗ вызывают образование листьев (без формирования побегов) и витрификацию тканей [22].

Для изучения влияния регуляторов роста на морфогенез *in vitro* каллусной культуры, экспланты были пересажены на среды для регенерации побегов в условия фотопериода. Стабильную морфогенную каллусную культуру гибридов Тополя Сибирского серебристого №4, №7, №12, т. Стройного №18/4, Гибрида № 10/1, Гибрида №21 получили на среде N₆, дополненной ЗН 25 мкМ. На данной среде возможно длительное время поддерживать каллусную культуру без потери морфогенности. Нами отмечено, что дальнейшее развитие и рост побегов происходили только при добавлении в среду ГК₃. Гиббереллины используют чаще всего для вытягивания укороченных побегов, как, например, для *P. × euramericana* (Dode) Guinier [23]. Роль ГК₃ проявляется и в синергическом эффекте с другими регуляторами роста, в том числе с цитокининами. Известно, что обработка растений гиббереллинами значительно увеличивает митотическую активность [24]. Так, например, только при внесении в среду для культивирования ГК₃ был получен морфогенный ответ у *Betula schmidtii* Regel

Биотехнология растений

[25]. Для Гибрида №2, Полигибрида SL-1 и Тополя Сибирского серебристого №12 морфогенетический каллус был получен на питательной среде, содержащей ТДЗ. Для *P. alba* × *P. berolinensis* также показано, что ТДЗ в низких концентрациях 0,1 мг/л является оптимальным для адвентивного побегообразования [26].

Для микроразмножения побегов, полученных прямым и непрямым путем, нами были применены среды MS и ACM. Ранее сообщалось, что использование среды MS было эффективным для *P. deltoides* W. Bartram ex Marshall и *P. × euramericana* [23, 27]. Оптимальными для развития и роста побегов оказались среды, дополненные БАП 1 мкМ и ГК₃ 5 мкМ (коэффициент размножения составил от 5 до 16 шт./экспл. для различных гибридов). Побеги тополя Сибирского серебристого №12 характеризовались также хорошим ростом на среде MS, дополненной КН 1,25 мкМ и ИУК 1,25 мкМ, коэффициент размножения составил 8,4±1,2 шт./экспл. и на среде ACM, дополненной 2 мкМ БАП и 20 мг/л СА, коэффициент размножения – 8,9±1,9 шт./экспл.

Заключение

Таким образом, для гибридов тополя Сибирский серебристый №4, №7, №12 (*P. alba* × *P. bollleana*), т. Стройный №18/4 (*C_o*(*P. nigra* × *P. pyramidalis*) выявлены прямой (адвентивное побегообразование, развитие лазущих почек) и непрямой (побегообразование) пути морфогенеза. Для гибрида №2 (*C_o*(*P. nigra* × *P. pyramidalis*), Полигибрида SL-1 (*P. suaveolens* 17/5 × *P. laurifolia* 6/9), гибрида № 10/1 (т. Подмосковный × *P. suaveolens*) и гибрида №21 (*P. balsamifera* × *P. pyramidalis*) – только непрямой. Для развития по прямому пути почки необходимо культивировать на среде с повышенным содержанием БАП 5 мкМ, а после заложения адвентивных побегов – на средах с низким содержанием цитокининов. Оптимальными для непрямого геммогенеза являются среда N₄, при этом решающую роль в развитии заложившихся почек играет ГК₃, и среда MS12. Полученные прямым и непрямым путем микропобеги успешно укореняли на среде MS с редуцированным вдвое содержанием минеральных элементов. Разработанные методики размножения *in vitro* дают возможность сохранения уникальных генотипов и позволяют получать в необходимом количестве посадочный материал декоративных форм тополя.

Благодарности

При подготовке публикации использовали материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

Список литературы

1. Бакулин В.Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблемы // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 563–571.
2. Бакулин В.Т. Интродукция и селекция тополя в Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 174 с.
3. Ahuja M.R. *In vitro* propagation of poplar and aspen // Bonga, J.M.; Durzan D.J., eds. Cell and tissue culture in forestry. Dordrecht, 1987. Vol. 3. Pp. 207–223.
4. Бакулин В.Т. Тополь белый в Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 117 с.
5. Бакулин В.Т., Чиндяева Л.Н., Цыбуля Н.В. Анти-микробная активность листьев тополей и ив (Salicaceae) в Сибири // Проблемы региональной экологии. 2010. № 6. С. 60–64.
6. Цыбуля В.Т., Якимова Ю.Л., Бакулин В.Т. Анти-микробная активность масляных экстрактов почек некоторых видов и форм тополя // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». 2011. Вып. 44, ч. IV. С. 136–140.
7. Бакулин В.Т. Тополь черный в Западной Сибири. – Новосибирск: «Гео», 2007. 121 с.
8. Бакулин В.Т. Тополь душистый в Сибири. Новосибирск: «Гео», 2010. 110 с.
9. Бакулин В.Т. Декоративные гибриды тополя сибирской селекции // Мат. межд. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика Н.В. Смольского: «Современные направления деятельности ботанических садов и держателей ботанических коллекций по сохранению биоразнообразия растительного мира». Минск. 2005. С. 235–237.
10. Эрст А.А., Бакулин В.Т. Клональное микроразмножение тополя Сибирского серебристого // Turczaninowia. 2012. №15(1). С. 58–62.
11. Эрст А.А., Бакулин В.Т. Эффективный способ регенерации побегов тополя из почек и листьев // Научные Ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 2012. № 21(1140). Вып. 21. С. 53–58.
12. Erst A.A., Bakulin V.T., Erst A.S., Kuznetsov A.A. and Bayahmetov E.Zh. *In vitro* propagation of ornamental hybrids of *Populus* L. // Biosciences, Biotechnology Research Asia. 2014. 11. Pp. 69–77. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1442>
13. Эрст А.А., Шишкун С.В. Регенерация побегов из каллусной культуры представителей рода (Salicaceae) // Мат. межд. конф., посвященной 70-летию Центрально-го сибирского ботанического сада «Сохранение разнообразия растительного мира в ботанических садах: традиции, современность, перспективы». Новосибирск, 2016. С. 341–342.
14. Эрст А.А., Шишкун С.В.. Воронкова М.С. Получение межвидовых гибридов (*Populus alba* × *P. bollleana*) × *P. × canescens* с использованием культуры *in vitro* // Сибирский лесной журнал. 2019. № 2. С. 45–52. DOI:10.15372/SJFS20190204
15. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // Physiologia Plantarum. 1962. 15(2). Pp. 473–497.

Биотехнология растений

16. Winton L.L. Shoot and tree production from aspen tissue cultures // American Journal of Botany. 1970. 57(8). Pp. 904–909.
17. Simola L. Propagation of plantlets from leaf callus of *Betula pendula* f. *purpurea* // Scientia Horticulturae. 1985. 26. Pp. 77–85.
18. Ahuja M.R. Somatic cell differentiation and rapid clonal propagation of aspen // Silvae Genetica. 1983. 3(3/4). Pp. 131–135.
19. Coleman G.C., Ernst S.G. In vitro shoot regeneration of *Populus deltoides*: effect on cytokinin and genotype // Plant Cell Reports. 1989. 8. Pp. 459–462.
20. Douglas G.C. *Populus* // Bajaj, Y.P.S., ed. Biotechnology in agriculture and forestry (5): Trees II. Berlin: Springer-Verlag, 1989. Pp. 300–333.
21. Ernst S.G. *In vitro* culture of pure species non-aspen poplars // Ahuja M.R., ed. Micropagation of Woody Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993. Pp. 195–207.
22. Confalonieri M., Balestrazzi A., Bisoffi S., Carbonera D. *In vitro* culture and genetic engineering of *Populus* spp.: synergy for forest tree // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2003. 73. Pp. 109–138.
23. Agrawal V., Gupta S.C. *In vitro* plantlet development from explants of 25-year-old trees of *Populus × euramericana* – a hybrid poplar // Plant Science. 1991. 78. Pp. 99–105.
24. Дерфлинг К. Гормоны растений. Системный подход. М., 1985. 304 с.
25. Ide Y., Nishikawa H. *In vitro* propagation of *Betula schmidtii* from germinated seedlings // Bulletin of the Tokyo University Forests. 1993. 89. Pp. 163–169.
26. Wang Hm., Liu Hm., Wang Wj., Zu Yg. Effects of Thidiazuron, basal medium and light quality on adventitious shoot regeneration from in vitro cultured stem of *Populus alba* × *P. berolinensis* // Journal of Forestry Research. 2008. 19(3). Pp. 257–259. DOI: 10.1007/s11676-008-0042-3.
27. Yadav R., Aror P., Kumar D., Katyal D., Dilbaghi N., Chaudhury A. High frequency direct plant regeneration from leaf, internode and root segments of Eastern Cottonwood (*Populus deltoides*) // Plant Biotechnology Reports. 2009. 3. Pp. 175–182. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11816-009-0088-5>.
4. Bakulin V.T. Topol' belyj v Zapadnoj Sibiri [White poplar in Western Siberia]. Novosibirsk: Geo [Novosibirsk: Geo], 2012. 117 p.
5. Bakulin V.T., Chindyaeva L.N., Cybulya N.V. Antimicrobnyaya aktivnost' list'ev topolej i iv (Salicaceae) v Sibiri [Antimicrobial Activity of Poplar and Willow Leaves (Salicaceae) in Siberia] // Problemy regional'noj ekologii [Regional ecology problems]. 2010. N 6. Pp. 60–64.
6. Cybulya V.T., Yakimova Yu.L., Bakulin V.T. Antimicrobnyaya aktivnost' maslyanykh ekstraktov pochek nekotorykh vidov i form topolya [Antimicrobial activity of oil extracts of buds of some species and forms of poplar] // Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IRGSKHA» [Scientific and practical journal «Bulletin of IrGSKhA】. 2011. Issue 44(4). Pp. 136–140.
7. Bakulin V.T. Topol' chernyj v Zapadnoj Sibiri [Black poplar in Western Siberia]. – Novosibirsk: «GeO» [Novosibirsk: «GeO»], 2007. 121 p.
8. Bakulin V.T. Topol' dushistyj v Sibiri [*Populus suaveolens* in Siberia]. Novosibirsk: «GeO» [Novosibirsk: «GeO»], 2010. 110 p.
9. Bakulin V.T. Dekorativnye gibridy topolya sibirskoj selekcii [Decorative hybrids of Siberian poplar selection] // Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 100-letiju so dnya rozhdeniya akademika N.V. Smol'skogo: «Sovremennye napravleniya deyatel'nosti botanicheskikh sadov i derzhatelej botanicheskikh kollekciy po sokhraneniyu bioraznobraziya rastitel'nogo mira» [Materials of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician N.V. Smolsky: «Modern directions of activity of botanical gardens and holders of botanical collections for the preservation of the biodiversity of the plant world】. Minsk, 2005. Pp. 235–237.
10. Erst A.A., Bakulin V.T. Klonal'noe mikrorazmnozhenie topolya Sibirskogo serebristogo [Clonal micropropagation of Siberian silver poplar] // Turczaninowia. 2012. N 15(1). Pp. 58–62.
11. Erst A.A., Bakulin V.T. Efektivnyj sposob regeneracii pobegov topolya iz pochek i list'ev [An effective way to regenerate poplar shoots from buds and leaves] // Nauchnye Vedomosti BeLGU. Seriya Estestvennye nauki [Scientific Bulletin of BelsU. Series Natural Sciences]. 2012. N 21(1140). Pp. 53–58.
12. Erst A.A., Bakulin V.T., Erst A.S., Kuznetsov A.A. and Bayahmetov E.Zh. *In vitro* propagation of ornamental hybrids of *Populus* L. // Biosciences, Biotechnology Research Asia. 2014. 11. Pp. 69–77.
13. Erst A.A., Shishkin S.V. Regeneraciya pobegov iz kallusnoj kul'tury predstavitelej roda (Salicaceae) [Regeneration of shoots from the callus culture of representatives of the genus (Salicaceae)] // Materialy mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 70-letiju Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada «Sokhranenie raznobraziya rastitel'nogo mira v botanicheskikh sadakh: tradicii, sovremennost', perspektivy» [Materials of the international conference dedicated to the 70th anniversary of the Central Siberian Botanical Garden «Preservation of the diversity of flora in botanical

References

1. Bakulin V.T. Ispol'zovanie topolya v ozelenenii promyshlennykh gorodov Sibiri: kratkii analiz problemy [The use of poplar in the greening of industrial cities of Siberia: a brief analysis of the problem] // Sibirskij ekologicheskij zhurnal [Contemporary problems of ecology]. 2005. N 4. Pp. 563–571.
2. Bakulin V.T. Introdukciya i selekcija topolya v Sibiri [Poplar introduction and breeding in Siberia]. Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe otdelenie [Novosibirsk: Publishing house «Science. Siberian branch»], 1990. 174 p.
3. Ahuja M.R. *In vitro* propagation of poplar and aspen // Bonga, J.M.; Durzan D.J., eds. Cell and tissue culture in forestry. Dordrecht, 1987. N 3. Pp. 207–223.

4. Bakulin V.T. Topol' belyj v Zapadnoj Sibiri [White poplar in Western Siberia]. Novosibirsk: Geo [Novosibirsk: Geo], 2012. 117 p.
5. Bakulin V.T., Chindyaeva L.N., Cybulya N.V. Antimicrobnyaya aktivnost' list'ev topolej i iv (Salicaceae) v Sibiri [Antimicrobial Activity of Poplar and Willow Leaves (Salicaceae) in Siberia] // Problemy regional'noj ekologii [Regional ecology problems]. 2010. N 6. Pp. 60–64.
6. Cybulya V.T., Yakimova Yu.L., Bakulin V.T. Antimicrobnyaya aktivnost' maslyanykh ekstraktov pochek nekotorykh vidov i form topolya [Antimicrobial activity of oil extracts of buds of some species and forms of poplar] // Nauchno-prakticheskij zhurnal «Vestnik IRGSKHA» [Scientific and practical journal «Bulletin of IrGSKhA】. 2011. Issue 44(4). Pp. 136–140.
7. Bakulin V.T. Topol' chernyj v Zapadnoj Sibiri [Black poplar in Western Siberia]. – Novosibirsk: «GeO» [Novosibirsk: «GeO»], 2007. 121 p.
8. Bakulin V.T. Topol' dushistyj v Sibiri [*Populus suaveolens* in Siberia]. Novosibirsk: «GeO» [Novosibirsk: «GeO»], 2010. 110 p.
9. Bakulin V.T. Dekorativnye gibridy topolya sibirskoj selekcii [Decorative hybrids of Siberian poplar selection] // Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 100-letiju so dnya rozhdeniya akademika N.V. Smol'skogo: «Sovremennye napravleniya deyatel'nosti botanicheskikh sadov i derzhatelej botanicheskikh kollekciy po sokhraneniyu bioraznobraziya rastitel'nogo mira» [Materials of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician N.V. Smolsky: «Modern directions of activity of botanical gardens and holders of botanical collections for the preservation of the biodiversity of the plant world】. Minsk, 2005. Pp. 235–237.
10. Erst A.A., Bakulin V.T. Klonal'noe mikrorazmnozhenie topolya Sibirskogo serebristogo [Clonal micropropagation of Siberian silver poplar] // Turczaninowia. 2012. N 15(1). Pp. 58–62.
11. Erst A.A., Bakulin V.T. Efektivnyj sposob regeneracii pobegov topolya iz pochek i list'ev [An effective way to regenerate poplar shoots from buds and leaves] // Nauchnye Vedomosti BeLGU. Seriya Estestvennye nauki [Scientific Bulletin of BelsU. Series Natural Sciences]. 2012. N 21(1140). Pp. 53–58.
12. Erst A.A., Bakulin V.T., Erst A.S., Kuznetsov A.A. and Bayahmetov E.Zh. *In vitro* propagation of ornamental hybrids of *Populus* L. // Biosciences, Biotechnology Research Asia. 2014. 11. Pp. 69–77.
13. Erst A.A., Shishkin S.V. Regeneraciya pobegov iz kallusnoj kul'tury predstavitelej roda (Salicaceae) [Regeneration of shoots from the callus culture of representatives of the genus (Salicaceae)] // Materialy mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 70-letiju Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada «Sokhranenie raznobraziya rastitel'nogo mira v botanicheskikh sadakh: tradicii, sovremenost', perspektivy» [Materials of the international conference dedicated to the 70th anniversary of the Central Siberian Botanical Garden «Preservation of the diversity of flora in botanical

Биотехнология растений

- gardens: traditions, modernity, prospects». Novosibirsk, 2016. Pp. 341–342.
14. Ernst A.A., Shishkin S.V., Voronkova M.S. Poluchenie mezhvidovykh gibriderov (*Populus alba* × *P. bollleana*) × *P. × canescens* s ispol'zovaniem kul'tury in vitro [The generation of interspecific hybrids in (*Populus alba* × *P. bollleana*) × *P. × canescens* by in vitro culture] // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian forest journal]. 2019. N 2. Pp. 45–52.
15. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // Physiologia Plantarum. 1962. 15(2). Pp. 473–497.
16. Winton L.L. Shoot and tree production from aspen tissue cultures // American Journal of Botany. 1970. 57(8). Pp. 904–909.
17. Simola L. Propagation of plantlets from leaf callus of *Betula pendula* f. *purpurea* // Scientia Horticulturae. 1985. 26. Pp. 77–85.
18. Ahuja M.R. Somatic cell differentiation and rapid clonal propagation of aspen // Silvae Genetica. 1983. 3(3/4). Pp. 131–135.
19. Coleman G.C., Ernst S.G. In vitro shoot regeneration of *Populus deltoides*: effect on cytokinin and genotype // Plant Cell Reports. 1989. 8. Pp. 459–462.
20. Douglas G.C. Populus // Bajaj, Y.P.S., ed. Biotechnology in agriculture and forestry (5): Trees II. Berlin: Springer-Verlag, 1989. Pp. 300–333.
21. Ernst S.G. In vitro culture of pure species non-aspen poplars // Ahuja M.R., ed. Micropropagation of Woody Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1993. Pp. 195–207.
22. Confalonieri M., Balestrazzi A., Bisoffi S., Carbonera D. In vitro culture and genetic engineering of *Populus* spp.: synergy for forest tree // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2003. 73. Pp. 109–138.
23. Agrawal V., Gupta S.C. In vitro plantlet development from explants of 25-year-old trees of *Populus × euramericana* – a hybrid poplar // Plant Science. 1991. 78. Pp. 99–105.
24. Derfling K. Gormony rastenij. Sistemnyj podkhod [Plant hormones. Systems approach]. M., 1985. 304 p.
25. Ide Y., Nishikawa H. In vitro propagation of *Betula schmidtii* from germinated seedlings // Bulletin of the Tokyo University Forests. 1993. 89. P:163–169.
26. Wang Hm., Liu Hm., Wang Wj., Zu Yg. Effects of Thidiazuron, basal medium and light quality on adventitious shoot regeneration from in vitro cultured stem of *Populus alba* × *P. berolinensis* // Journal of Forestry Research. 2008. 19(3). Pp. 257–259.
27. Yadav R., Aror P., Kumar D., Katyal D., Dilbaghi N., Chaudhury A. High frequency direct plant regeneration from leaf, internode and root segments of Eastern Cottonwood (*Populus deltoides*) // Plant Biotechnology Reports. 2009. 3. Pp. 175–182.

Информация об авторах

Эрст Анна Алексеевна, канд. биол. наук, ст. н. с.
E-mail: erst_aa@csbg-nsk.ru
Банаев Евгений Викторович, д-р биол. наук, гл. н. с.
E-mail: alnus2005@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Центральный сибирский ботанический сад Сибирского
отделения Российской академии наук
630090, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101

Information about the authors

Erst Anna Alekseevna, Cand. Sci. Biol., Senior Researcher
E-mail: erst_aa@csbg-nsk.ru
Banaev Evgeny Victorovich, Dr. Sci. Biol., Chief Researcher
E-mail: alnus2005@mail.ru
Federal State Budgetary Institution for Science Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
630090, Russian Federation, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. При направлении материалов для публикации в журнале необходимо заполнить карточку «Сведения об авторе» (на русском и английском языках). Пример. Адрес регистрации: 111222, Москва, ул. генерала Авдеева, дом 2, корпус 4, квартира 444. 111222, Moscow, street of General Avdeeva, the house 2, building 4, apartment 444.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Фамилия _____

Имя _____

Отчество _____

Дата и место рождения _____

Адрес регистрации (прописки) по паспорту с указанием почтового индекса _____

Адрес фактического проживания с указанием почтового индекса _____

Контактная информация (домашний, служебный и мобильный телефоны, электронный адрес) _____

Название организации (место работы (учебы)) вместе с ведомством, к которому она принадлежит, занимаемая должность, адрес организации с указанием почтового индекса _____

Ученая степень и звание (№ диплома, аттестата, кем и когда выдан) _____

2. Объем статьи не должен превышать 20 страниц машинописного текста. Текст необходимо набирать в редакторе Word шрифтом № 12, Times New Roman; текст не форматируется, т.е. не имеет табуляций, колонок и т.д. Статьи должны быть свободны от сложных и громоздких предложений, математических формул и особенно формульных таблиц, а также промежуточных математических выкладок. Нумеровать следует только те схемы и формулы, на которые есть ссылка в последующем изложении. Все сокращения и условные обозначения в схемах и формулах следует расшифровать, размерности физических величин давать в СИ, названия иностранных фирм и приборов – в транскрипции первоисточника с указанием страны.

3. Отдельным файлом должны быть присланы рисунки (формат *.tif с разрешением не менее 300 dpi, *.pdf, *.ai или *.cdr) и подписи к ним. Аннотация и ключевые слова на русском и английском языках – также отдельными файлами. В аннотации полностью должна быть раскрыта содержательная сторона публикации и полученные результаты (выводы). Аннотация должна иметь объем от 100 до 250 слов. После аннотации дается перечень ключевых слов – от 5 до 10.

4. Список использованной литературы (лишь необходимой и органически связанный со статьей) составляется в порядке упоминания и дается в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте отмечаются порядковыми цифрами в квадратных скобках, а именно: [1, 2]. Желательно, чтобы список литературы содержал

не менее 10–12 источников, в том числе как минимум – 3 зарубежные публикации (желательно из трех стран) в данной области за последние 5–10 лет. Список литературы представляется на русском, английском языках и латинице (романским алфавитом). Вначале дается список литературы на русском языке, имеющиеся в нем зарубежные публикации – на языке оригинала. Затем приводится список литературы в романском алфавите, который озаглавливается References и является комбинацией англоязычной [перевод источника информации на английский язык дается в квадратных скобках (<https://translate.google.ru/?hl=ru&tab=wT>)] и транслитерированной частей русскоязычных ссылок (http://shub123.ucoz.ru/Sistema_transliterazii.html). В конце статьи приводится название статьи, фамилия, имя, отчество автора (ов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы, электронный адрес хотя бы одного из авторов для связи и точный почтовый адрес организации (место работы автора) на русском и английском языках, при этом название улицы дается транслитерацией. Список литературы следует оформлять в соответствии с Международными стандартами:

ПРАВИЛА РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ СТАТЕЙ

1. Любая статья, поступающая в редакцию журнала, независимо от личности автора (ов) направляется рецензенту, крупному специалисту в данной области.

Редакция журнала осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки.

Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

2. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания не менее 5-ти лет.

3. Копии рецензий, при поступлении в редакцию журнала соответствующего запроса направляются в Министерство образования и науки Российской Федерации.

4. Статья рецензенту передается безличностно, т.е. без указания фамилии автора(ов), места работы, занимаемой должности и контактной информации (адреса, телефона и E-mail адреса).

5. Рецензент на основе ознакомления с текстом статьи обязан в разумный срок подготовить и в письменной форме передать в редакцию рецензию, в обязательном порядке содержащую оценку актуальности рассмотренной темы, указать на степень обоснованности положений, выводов и заключения, изложенных в статье, их достоверность и новизну. В конце рецензии рецензент должен дать заключение о целесообразности или нецелесообразности публикации статьи.

6. При получении от рецензента отрицательной рецензии статья передается другому рецензенту. Второму рецензенту не сообщается о том, что статья была направлена

рецензенту, и что от него поступил отрицательный отзыв. При отрицательном результате повторного рецензирования статья снимается с рассмотрения и об этом сообщается автору(ам).

7. Автору (ам) редакция направляет копии рецензии заказным письмом с уведомлением о вручении и по электронной почте.

8. В исключительных случаях, по решению редакционной коллегии, при получении от двух рецензентов отрицательного отзыва, статья может быть опубликована. Такими исключительными случаями являются: предвзятое отношение рецензентов к рассмотренному в статье новому направлению научного нововведения; несогласие и непризнание рецензентами установленных автором фактов на основе изучения и анализа экспериментальных данных, результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и других работ, выполненных на основании и в рамках Национальных и государственных программ и принятых заказчиком; архивных и археологических изысканий, при условии предоставления автором документальных доказательств и т.д.
