



ISSN: 0366-502X

БЮЛЛЕТЕНЬ **ГЛАВНОГО** **БОТАНИЧЕСКОГО** **САДА**

3/2021

(Выпуск 207)





БЮЛЛЕТЕНЬ ГЛАВНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

3/2021 (Выпуск 207)

ISSN: 0366-502X

СОДЕРЖАНИЕ

ГИДРОБИОЛОГИЯ

Герасимова Т.Н., Садчиков А.П.

Дробление и потребление зеленых водорослей фильтрующим
зоопланктоном в экспериментальной экосистеме
(восстановление качества вод) 3

ИНТРОДУКЦИЯ И АККЛИМАТИЗАЦИЯ

Казарова С.Ю., Бойко Г.А.

Фенологический аспект многолетних исследований представителей
рода *Asperula* в дендрарии Ботанического сада МГУ им. М. В. Ломоносова 10

Липпонен И.Н., Гончарова О.А.

Коллекция интродуцированных растений черемухи и комплексная
оценка жизнеспособности и декоративности в Арктической зоне России
(Кольский полуостров) 16

БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Семенова Н.А., Чилингарян Н.О., Иваницких А.С., Дорохов А.А.,

Павлова Е.В., Уютова Н.И.

Влияние спектрального состава света и кремнийсодержащего
удобрения силиплант на морфологические показатели базилика
в условиях закрытых искусственных агроэкосистем 25

Смирнов А.А., Прошкин Ю.А., Качан С.А., Павлова Е.В.

Обзор цифровых неинвазивных технологии мониторинга лесов 33

ФЛОРИСТИКА И СИСТЕМАТИКА

Хозяйкина С.А., Кубан И.Н., Баняев Е.В.

Использование ISSR-праймеров для анализа внутривидового
полиморфизма *Nitraria sibirica* Pall. 39

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 № ФС 77-46435

Подписные индексы
«Пресса России» 11184

Главный редактор:

Фирсов Г.А., канд. биол. наук, Россия
Зам. главного редактора:
Горбунов Ю.Н., доктор биол. наук, Россия

Редакционная коллегия:

Бондорина 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
Кваситадзе 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, проф., 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

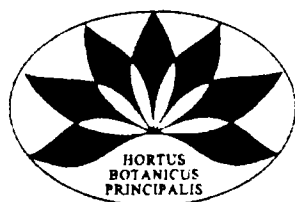
ИП Ивашкин Дмитрий Геннадиевич
ОГРНИП 319774600595516

Адрес редакции:

107258, Москва,
Альмов пер., д. 17, корп. 2
«Издательство, редакция журнала
«Бюллетень Главного
ботанического сада»»
Тел.: +7 (916) 186-55-45
+7 (499) 168-24-28
E-mail: rbbs20bs@mail.ru
rbbs20bs@yandex.ru
bulletinbotanicalgarden@mail.ru

Подписано в печать 23.08.2021 г.
Формат 60х88 1/8. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл.-печ. л. 12.4
Уч.-изд. л. 14.5. Заказ № 890
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

3/2021 (Выпуск 207)

ISSN: 0366-502X

CONTENTS

HYDROBIOLOGY

Gerasimova T.N., Sadchikov A.P.

Crushing and consumption of green algae by filtering zooplankton
in the experimental ecosystem (restoration of water quality) 3

INTRODUCTION AND ACCLIMATIZATION

Kazarova S.Yu., Boyko G.A.

Phenological aspect of long-term research of representatives of the genus
Acer L. in the arboretum of the Botanical Garden of Lomonosov
Moscow State University 10

Lipponen I.N., Goncharova O.A.

Collection of introduced bird cherry plants and a comprehensive
assessment of viability and decorativeness in the Arctic zone of Russia
(Kola Peninsula) 16

PLANT BIOTECHNOLOGY

Semenova N.A., Chilingaryan N.O., Ivanitskikh A.S., Dorokhov A.A.,

Pavlova E.V., Uytova N.I.

Influence of the spectral composition of light and silicon-containing
fertilizer siliplant on the morphological parameters of basil
in closed artificial agroecosystems 25

Smirnov A.A., Proshkin Yu.A., Kachan S.A., Pavlova E.V.

Overview of Digital Non-Invasive Forest Monitoring Technologies 33

FLORISTICS AND TAXONOMY

Khozyaykina S.A., Kuban I.N., Banaev E.V.

Use of ISSR primers for the analysis of intraspecific polymorphism
in *Nitraria sibirica* Pall 39

Founders:

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

Publisher:

Ltd. «Nauchtehlitizdat»

The Journal is Registered
by the Federal Service
for Supervision in the Sphere
of Communications
Information Technologies
and Mass Communications
(Roskomnadzor)

Certifi Cate of Print Media Registration
№ Фс77-46435

Subscription Numbers.
«Press of Russia» 11184

Editor-In-Chief

Firsov G.A., 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.

Kvesitadze 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.

Tsvadze 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 23.08.2021

Format 60×88 1/8

Text Magazine Paper Offset Printing

12.4 Conventional Printer's Sheets

14.5 Conventional Publisher's Signatures

The Order № 890

Circulation 300 Copies

The Layout and the Electronic Version
of the Journal are Made by Ltd
«Nauchtehlitizdat»

Printed in Ltd «Nauchtehlitizdat»
107258, Moscow, Alymov pereulok, 17, bldg 2
www.tgizd.ru

Т.Н. Герасимова

канд. биол. наук, н.с.

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт водных проблем
Российской академии наук
E-mail: gerasiming@gmail.com

А.П. Садчиков

д-р биол. наук, профессор

Международный биотехнологический центр
Московского государственного университе-
та имени М.В. Ломоносова
E-mail: aquaecotox@yandex.ru

Дробление и потребление зеленых водорослей фильтрующим зоопланктоном в экспериментальной экосистеме (восстановление качества вод)

Зеленые водоросли при избыточном поступлении органических и минеральных веществ могут вызывать «цветение» водоемов, снижать качество воды. Исследованы условия и возможности ракообразных снижать биомассу доминирующих одиночных и колониальных форм зеленых водорослей. Эксперименты проводили в проточной экосистеме эвтрофного водоема Патриаршие пруды (Москва). Показано, что при доминировании в пруду зеленых водорослей развиваются колонии, размер которых превышает пищевой спектр фильтрующего зоопланктона. Оценена роль *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776) в снижении биомассы доминирующих видов Chlorophyta. Снижение биомассы доминирующих крупных колониальных видов зеленых водорослей осуществляется в экспериментальной экосистеме при изоляции рыб-планктофагов, высокой численности *S. vetulus*. Это происходит за счет и дробления (разрушения) особями *S. vetulus* крупных форм водорослей и перевода их в категорию потребляемых. Особи *S. vetulus* могут снижать биомассу колониальных форм зеленых водорослей и повышать качество воды.

Ключевые слова: Chlorophyta, колониальные формы, *Simocephalus vetulus*, дробление, проточность.

T.N. Gerasimova

Cand. Sci. Biol., Researcher

Russian academy of sciences Institute of water
problems

E-mail: gerasiming@gmail.com

A.P. Sadchikov

Dr. Sci. Biol., Prof.

Moscow State University n.a. M.V. Lomonosov

E-mail: aquaecotox@yandex.ru

Crushing and consumption of green algae by filtering zooplankton in the experimental ecosystem (restoration of water quality)

With an excessive intake of organic and mineral substances, green algae can cause "blooming" of water bodies and reduce the quality of water. The conditions and possibilities of crustaceans to reduce the biomass of the dominant single and colonial forms of green algae have been investigated. The experiments were carried out in the flowing ecosystem of the Patriarshiye Ponds eutrophic reservoir (Moscow). It was shown that when green algae dominate in the pond, colonies develop, the size of which exceeds the food spectrum of filtering zooplankton. The role of *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776) in the decrease in the biomass of the dominant Chlorophyta species was estimated. A decrease in the biomass of the dominant large colonial species of green algae is carried out in the experimental ecosystem with the isolation of planktophagous fish, a high abundance of *S. vetulus*. This is due to the fragmentation (destruction) of large forms of algae by *S. vetulus* individuals and their transfer to the category of consumed ones. *S. vetulus* can reduce the biomass of colonial green algae and improve water quality.

Keywords: Chlorophyta, colonial forms, *Simocephalus vetulus*, crushing, flow.

DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2021.1094

Введение

Проблема «цветения» водоемов в настоящее время является крайне актуальной. В водных экосистемах фильтрующий зоопланктон является основным потребителем микроскопических водорослей и цианобактерий.

Ракообразные снижают количество фитопланктона, меняют его видовой состав и увеличивают прозрачность воды [2–5, 8–10, 12]. Интенсивность потребления водорослей зоопланктоном во многом зависит от их размера. Зоопланктон потребляет в пищу клетки и колонии малых и средних размеров, до 30–50 мкм. Крупные и колониальные

водоросли (в том числе и зеленые) непосредственно не потребляются фильтраторами. Максимальный размер потребляемых частиц во многом зависит от размера рачков. Крупные ракообразные потребляют большие по размеру частицы. Кроме того, крупные клетки и колониальные водоросли при высокой концентрации нарушают процесс фильтрации. Они механически забивают фильтрационный аппарат ракообразных, мешая, тем самым, питанию [4]. Сам зоопланктон выедается рыбами-планктофагами и мальками многих видов ихтиофауны. Рыбы при охоте ориентируются визуально. Они потребляют в первую очередь крупные особи зоопланктона. Из-за этого размерная структура популяции сдвигается в сторону мелких видов.

Зеленые водоросли (также как и цианобактерии), в условиях высокого поступления органических и минеральных веществ вызывают цветение водоемов, снижают прозрачность и качество воды [7]. Несмотря на то, что у многих зеленых водорослей колонии имеют крупные размеры (более 100 мкм), однако сами водоросли представлены отдельными клетками небольшого размера, погруженными в слизь. Такие колонии по мере роста могут распадаться на отдельные фрагменты и в таком виде потребляются фильтрующим зоопланктоном. Кроме того, имеются сведения [4], что зоопланктон может разбивать (дробить) слизистые колонии и использовать их в пищу. У некоторых водорослей зоопланктон переваривает саму слизь, а клетки остаются жизнеспособными.

Исследование возможностей дробления колониальных форм зеленых водорослей и их потребления фильтрующим зоопланктоном необходимо для понимания процессов восстановления качества вод. Поэтому цель работы состояла в оценке способности фильтрующего зоопланктона снижать биомассу зеленых водорослей различных жизненных форм. Нас интересовало, насколько быстро ракообразные могут снизить биомассу одноклеточных и колониальных форм зеленых водорослей в экспериментальных условиях.

Материалы и методы

Эксперименты проводили на Патриаршем пруду (г. Москва) в летний период, с 24 июля по 28 августа. Площадь поверхности пруда составляет около 1 га, средняя и максимальная глубины – 1.5 и 2.5 м, соответственно. Патриарший пруд используется для рекреационных целей, относится к высокотрофному водоему.

Ихтиофауна пруда состоит из ротана, карася, щуки, окуня, толстолобика, карпа, плотвы, верховки, уклейки и других рыб. Многие из них имеют продолжительный порционный нерест в течение всего вегетационного сезона, из-за чего в пруду постоянно присутствует молодь рыб разного размера [12].

Для экспериментов использовали проточную плавающую экосистему, которая была заякорена в середине пруда. Глубина водоема в этом месте составляла 2 м. Конструкция проточных экосистем подробно описана в работе [11]. Для изоляции зоопланктона от ихтиофауны в

качестве фильтра использовалась капроновая сетка с ячейкой размером 0.5 мм. Рабочий объем проточной экосистемы составлял 1.5 м³. Полная замена воды происходила в течение одного часа.

Отбор проб зоо- и фитопланктона в Патриаршем пруду проводили еженедельно у входа воды в проточную экосистему. Параллельно отбирали пробы воды в самой экспериментальной экосистеме. Прозрачность воды измеряли с помощью диска Секки. Температуру воды в водоеме измеряли постойно через каждые 20 см от поверхности до дна, а в проточной экосистеме – на глубине 20 см (анализатор Water quality checker U-10, «Horiba», Япония). В водоеме пробы воды для анализа фитопланктона отбирали батометром с глубины 20 см. С такой же глубины вода поступала в проточную экосистему. Для учета ракообразных пробы отбирали планктонной сетью Апштейна из капронового газа № 77 с диаметром входного отверстия 11.5 см. Сеть протягивали вертикально от дна водоема до поверхности. Анализ проб зоопланктона (видовой состав и численность) проводили в камере Богорова под бинокляром (МБС-9, Россия). Для оценки структуры популяции *Daphnia magna* Straus, *Simocephalus vetulus* и др. из пробы отбирали часть особей (30-50 экз.) и определяли их размер с помощью окуляр-микрометра с ценой деления 0.05 мм. Биомассу ракообразных вычисляли на основе зависимости массы от длины тела [1]. Биомассу фитопланктона определяли методом приравнивания форму клеток водорослей к близкому геометрическому телу (метод геометрического подобия фигур) [6]. Фитопланктон по размерному составу был разделен на «съедобный» для растительноядного зоопланктона (<50 мкм) и «несъедобный» (>50 мкм) [6].

Результаты исследований

Прозрачность воды в пруду до 7 августа была высокой и достигала дна (1.6 м). Затем по мере развития водорослей она понизилась до 1.2 м. Средняя температура толщи воды составляла 28-21°C, а в конце августа – 17°C. Биомасса растительноядного зоопланктона ($B_{\text{раст}}$), в течение исследованного периода изменялась от 0.8 до 1.9 мг/л. *S. vetulus* был зарегистрирован в пруду только 24 июля, да и то, с минимальной численностью 0.1 экз./л. В дальнейшем, вплоть до окончания исследований он не встречался в пруду, что связано с его выеданием рыбами.

В экспериментальной экосистеме (при отсутствии рыб) численность и биомасса *S. vetulus* с 24 июля по 28 августа увеличилась до 11760 экз./л. Их доля в составе $B_{\text{раст}}$ с 24 по 31 июля возросла с 1 до 11 %, а с 7 по 28 августа – с 80 до 99% [12]. При отсутствии рыб-планктофагов биомасса *S. vetulus* в экспериментальной экосистеме в августе увеличивалась и превышала от 319 до 1490 раз $B_{\text{раст}}$ водоема.

В Патриаршем пруду в период исследования в составе фитопланктона был зарегистрирован 101 вид водорослей и цианобактерий. В составе Chlorophyta было отмечено 63 вида. В сообщество зеленых водорослей входили

одиночные, ценобиальные и колониальные жизненные формы. Доминирующие по биомассе виды колониальных форм в составе зеленых водорослей представлены в таблице. Среди них шаровидные колонии *Coenochloris pyrenoidosa* Korschikov имеют размеры 30-60 мкм, окруженные толстым слоем бесструктурной слизи [7]. Шаровидные колонии *Dictyosphaerium pulchellum* N.C.Wood, с рыхло расположенными клетками, имеют размеры до 80-100 мкм. *Microactinium pusillum* Fresenius представлена кубическими колониями, которые легко распадаются на одиночные клетки. *Oocystis lacustris* Chodat представлен разными жизненными формами – от одиночных клеток до сборных колоний, окруженных материнской оболочкой или слизью. Эллиптические колонии *Pandorina charkowiensis* Korschikov достигают длины 129 мкм, клетки расположены по периферии и не доходят до центра ценобии, неплотно прилегают одна к другой. Шаровидные колонии *Pandorina morum* (O.F.Müller) Bory достигают 250 мкм. Сферические колонии *Raphidocelus contorta* (Schmidle) Marvan, Komarec et Comas имеют диаметр 20-33 мкм [7]. Таким образом, основная часть доминирующих зеленых водорослей относится к колониальным непотребляемым по размерам для фильтрующего зоопланктона.

Разность между значениями биомассы Chlorophyta ($B_{\text{Chlorophyta}}$), в водоеме и на выходе из проточной экосистемы за 1 час (время пребывания воды в проточной экосистеме) пересчитывали на 1 сут и получали величину суточного потребления Chlorophyta зоопланктоном ($C_{\text{Chlorophyta}}$). Для количественной оценки снижения биомассы доминирующих видов Chlorophyta в проточной экосистеме определяли биомассу доминирующих видов Chlorophyta ($B_{\text{вид}}$, мг/л), их долю в составе ($B_{\text{Chlorophyta}}$), % в водоеме. Разность между значениями биомассы доминирующих видов Chlorophyta в водоеме и на выходе из проточной экосистемы за 1 час пересчитывали на 1 сут и получали величину их суточного потребления зоопланктоном в проточной экосистеме, ($C_{\text{вид}}$, мг/(л·сут)). Определяли их долю от общего потребления $C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме, %. Оценивали отношение $C_{\text{вид}}$ в проточной экосистеме к его поступающей биомассе из водоема на момент отбора проб в водоеме – (количество потребляемых биомасс вида за сутки в проточной экосистеме на момент отбора проб в водоеме) – $Z_{\text{вид}}$ (Таблица).

Для выявления комплекса доминирующих форм в составе биомассы Chlorophyta в водоеме, учитывались виды, занимающие одно из первых трех мест по биомассе. Следующие два вида имеют четвертое и пятое место по биомассе в водоеме. Они тоже были отнесены к доминирующим по биомассе видам Chlorophyta, поскольку их значение $Z_{\text{вид}}$ было выше таковых для третьего или четвертого вида.

В начале исследования, 24 июля, в водоеме биомасса Chlorophyta составляла (0,35 мг/л) - 58% $B_{\text{в}}$. В составе Chlorophyta был зарегистрирован 31 вид. Доминирующими по биомассе Chlorophyta были 4 вида водорослей: *Cosmarium undulatum* Corda (одиночные клетки размером

21-64 мкм), *C. pyrenoidosa* (колониальные, клетки длиной 5,7 мкм), *Tetraidron minimum* (A. Braun) Hansgirg (клетки одиночные, 5-25 мкм в диаметре) и *R. contorta* (колонии, клетки размером 5,1 мкм). Они составляли 70% биомассы Chlorophyta (Таблица).

$C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме составляло 4,75 мг/(л·сут). Суточное потребление биомассы доминирующих видов водорослей фильтрующим зоопланктоном в экосистеме составляло 3,9 мг/(л·сут), или 83% $C_{\text{Chlorophyta}}$. Суточное потребление биомассы доминирующих видов Chlorophyta в проточной экосистеме не пропорционально зависело от величины их биомассы, поступающих с водными массами из водоема. Потребление фильтрующим зоопланктоном *Cosmarium undulatum* и *Raphidocelus contorta* было предпочтительным, по сравнению с таковым для *Coenochloris pyrenoidosa* и *Tetraidron minimum*. В проточной экосистеме $B_{\text{расч}}$ составляла 110,6 мг/л. Биомасса кладоцер составляла около 100% $B_{\text{расч}}$. Среди них биомасса *D. magna*, *Ceriodaphnia quadrangula* (O.F.Müller, 1785) и *S. vetulus* составляла 65%, 33% и 1% $B_{\text{расч}}$ соответственно. Таким образом, в данной ситуации виды *C. undulatum* и *R. contorta* являются более предпочтительными для потребления их фильтрующим зоопланктоном по сравнению с видами *C. pyrenoidosa* и *T. minimum*.

В конце июля в пруду биомасса Chlorophyta составляла 0,92 мг/л (73% $B_{\text{в}}$). В составе Chlorophyta было зарегистрировано 29 видов. Доминирующими по биомассе были 4 вида зеленых водорослей (Таблица). Они составляли 60% биомассы Chlorophyta. Клетки *Monoraphidium contortum* (Turet) Komárcová-Legnerová и жгутиковые *Pteromonas* sp. относятся к одиночным формам.

$C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме составляло 8,4 мг/(л·сут). Данное количество соответствовало 9,13 биомассам, зарегистрированным на момент отбора в водоеме. Суточное потребление биомассы доминирующих видов водорослей фильтрующим зоопланктоном в экосистеме составляло 7,6 мг/(л·сут), или 91% $C_{\text{Chlorophyta}}$. Суточное потребление доминирующих видов Chlorophyta в проточной экосистеме не пропорционально зависело от величины их биомассы, поступающей с водными массами из пруда. Потребление фильтрующим зоопланктоном *M. pusillum* и *Pteromonas* sp. более предпочтительно по сравнению с таковыми для *M. contortum*.

В проточной экосистеме $B_{\text{расч}}$ составляла 379 мг/л. Биомасса кладоцер составляла 100% $B_{\text{расч}}$. Среди них, *C. quadrangula*, *S. vetulus*, *Scapholeberis aurita* (Fischer), *D. magna* и *Scapholeberis mucronata* (O.F.Müller, 1776) составляли 75%, 11%, 8%, 3% и 2% $B_{\text{расч}}$ соответственно.

Результаты свидетельствуют о предпочтительном выедании фильтрующим зоопланктоном *M. pusillum* и *Pteromonas* sp. Низкие значения количества потребляемых биомасс за сутки *M. contortum* и *D. pulchellum* свидетельствуют о неполном их выедании фильтрующим зоопланктоном в проточной экосистеме. Таким образом *M. pusillum* и *Pteromonas* sp. более предпочтительны по сравнению с *M. contortum* для фильтраторов *C. quadrangula*, *S. vetulus*, *S. aurita*, *D. magna* и *S. mucronata*.

Таблица. Биомасса доминирующих видов Chlorophyta, $B_{\text{вида}}$, мг/л, их доля в составе биомассы Chlorophyta, $\frac{B_{\text{вида}}}{B_{\text{Chlorophyta}}} \cdot 100$, %, в водоеме Патриаршие пруды. Суточное потребление вида водорослей, $C_{\text{вида}}$, мг/(л·сут), его доля в составе суточного потребления $C_{\text{Chlorophyta}}$, $\frac{C_{\text{вида}}}{C_{\text{Chlorophyta}}} \cdot 100$ %, в проточной экосистеме, отношение $C_{\text{вида}}$ к его поступающей биомассе из водоема, $Z_{\text{вида}}$

Дата	Вид	Водоем		Проточная экосистема		
		$B_{\text{вида}}$	$\frac{B_{\text{вида}}}{B_{\text{Chlorophyta}}} \cdot 100$	$\frac{C_{\text{вида}}}{C_{\text{Chlorophyta}}} \cdot 100$	$C_{\text{вида}}$	$Z_{\text{вида}}$
24.07	<i>Cosmarium undulatum</i>	0.13	37	59	2.78	21.9
	<i>Coenochloris pyrenoidosa</i>	0.05	16	7	0.31	5.8
	<i>Tetraidron minimum</i>	0.03	9	4	0.17	5.3
	<i>Raphidocelis contorta</i>	0.03	8	14	0.67	24.0
31.07	<i>Micractinium pusillum</i>	0.24	26	51	4.25	17.7
	<i>Monoraphidium contortum</i>	0.12	12	7	0.58	5.0
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0.11	12	13	1.08	9.7
	<i>Pteromonas sp.</i>	0.09	10	20	1.70	18.9
7.08	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0.68	37	38	15.31	22.6
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.27	15	16	6.31	23.1
	<i>Pteromonas sp.</i>	0.16	9	9	3.72	23.5
	<i>Pandorina charkowiensis</i>	0.15	8	9	3.60	24.0
14.08	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0.46	26	26	10.68	23.2
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.35	20	20	8.26	23.7
	<i>Pandorina morum</i>	0.32	18	19	7.75	24.0
21.08	<i>Pandorina morum</i>	0.39	32	33	9.46	24.0
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.29	24	24	6.77	23.0
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0.14	11	11	3.05	22.6
	<i>Pteromonas sp.</i>	0.09	7	7	2.06	24.0
	<i>Oocystis lacustris</i>	0.06	5	5	1.42	24.0
28.08	<i>Pandorina morum</i>	0.81	34	36	18.94	23.4
	<i>Pteromonas sp.</i>	0.47	20	21	10.97	23.5
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0.41	17	17	8.81	21.4
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0.25	11	11	5.72	22.9

В начале августа в пруду биомасса Chlorophyta составляла 1.8 мг/л (79% B_{ϕ}). В составе Chlorophyta было зарегистрировано 36 видов. Доминирующими по биомассе были 4 вида водорослей, которые составляли 69% биомассы Chlorophyta (Таблица).

$C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме составляло 40.5 мг/(л·сут). Данное количество соответствовало 22 биомассам, зарегистрированным на момент отбора в водоеме. Суточное потребление биомассы доминирующих видов водорослей фильтрующим зоопланктоном в экосистеме составляло 28.9 мг/(л·сут), или 71% $C_{\text{Chlorophyta}}$. Их среднее значение количества потребляемых биомасс за сутки было высоким и составляло 23. Доли биомасс доминирующих видов Chlorophyta в водоеме и доли суточного потребления их фильтрующим зоопланктоном в проточной экосистеме были сходными. Их различия составляли <1% (Таблица).

В проточной экосистеме $B_{\text{рпч}}$ составляла 540 мг/л. Биомасса кладоцер составляла 99% $B_{\text{рпч}}$. Среди них *S. vetulus* и *C. quadricauda* составляли 81 и 16% $B_{\text{рпч}}$ соответственно.

Сходные значения доли биомасс доминирующих видов Chlorophyta в водоеме и их доли суточного потребления фильтрующим зоопланктоном в проточной экосистеме показывают, что величина суточного потребления доминирующих видов зеленых водорослей пропорционально зависит от величины их биомассы, поступающей с водными массами из водоема. Полное выедание за один час биомассы доминирующего колониального вида *P. charkowiensis* свидетельствует об активном его выедании фильтратором *S. vetulus*. Таким образом, доминирующие виды Chlorophyta *D. pulchellum*, *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson, *Pteromonas* sp. и *P. charkowiensis* являются потребляемыми для *S. vetulus*.

В середине августа в водоеме биомасса Chlorophyta составляла 1.8 мг/л (73% B_{ϕ}). В составе Chlorophyta было зарегистрировано 29 видов. Доминирующими по биомассе Chlorophyta были 3 вида водорослей (Таблица). Они составляли 1.1 мг/л или 64% биомассы Chlorophyta. Биомасса Chlorophyta в проточной экосистеме за 1 час снижалась в 36 раз, что является наибольшим показателем за период исследования.

$C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме составляло 41.4 мг/(л·сут). Данное количество составляло 23 биомассы Chlorophyta, зарегистрированной на момент отбора проб в пруду. Суточное потребление биомассы доминирующих видов водорослей фильтрующим зоопланктоном в экосистеме составляло 26.7 мг/(л·сут), или 64% $C_{\text{Chlorophyta}}$. Их среднее значение количества потребляемых биомасс за сутки составляло 23 (Таблица). Таким образом, суточное потребление доминирующих видов Chlorophyta пропорционально зависело от величины их биомассы, поступающей с водными массами из водоема в проточную экосистему.

В проточной экосистеме $B_{\text{рпч}}$ составляла 932 мг/л. Биомасса кладоцер составляла около 100% $B_{\text{рпч}}$. Среди них *S. vetulus* составлял 98% $B_{\text{рпч}}$. Сходные значения

доли биомассы доминирующих видов Chlorophyta в водоеме и их доли суточного потребления фильтрующим зоопланктоном *S. vetulus* в проточной экосистеме показывает, что величина суточного потребления доминирующих видов зеленых водорослей пропорционально зависит и определяется величиной их биомассы, поступающей с водными массами из водоема. Полное выедание за 1 час доминирующего вида *P. morum* с формой существования колониальных жгутиковых клеток в условиях проточности свидетельствует об активном его выедании *S. vetulus*. Доминирующие виды Chlorophyta *D. pulchellum*, *S. quadricauda* и *P. morum*, являются потребляемыми для *S. vetulus* в условиях проточности.

В начале третьей декады августа в водоеме $B_{\text{Chlorophyta}}$ составляла 1.2 мг/л (42% B_{ϕ}). В составе Chlorophyta было зарегистрировано 33 вида. Доминирующими по биомассе в составе Chlorophyta были 5 видов водорослей (Таблица). Они составляли 1.0 мг/л или 79% $B_{\text{Chlorophyta}}$.

В проточной экосистеме $B_{\text{рпч}}$ составляла 1610 мг/л. Биомасса кладоцер составляла около 100% $B_{\text{рпч}}$. Среди них *S. vetulus* составлял 97% $B_{\text{рпч}}$.

$C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме составляло 28.2 мг/(л·сут). Суточное потребление биомассы доминирующих видов водорослей фильтрующим зоопланктоном в экосистеме составляло 22.8 мг/(л·сут), или 81% $C_{\text{Chlorophyta}}$. Их среднее значение количества потребляемых биомасс за сутки составляло 23 (Таблица). Суточное потребление доминирующих видов Chlorophyta в проточной экосистеме зависело от величины их биомассы, поступающей с водными массами из пруда. Доминирующие виды Chlorophyta являются потребляемыми для фильтратора-фитофага *S. vetulus*. Высокие значения Z для доминирующих видов Chlorophyta свидетельствует о практически полном их выедании в проточной экосистеме (Таблица). Полное выедание доминирующих видов *P. morum*, *Pteromonas* sp., *O. lacustris*, в условиях проточности свидетельствует о высокой скорости их выедания фильтратором-фитофагом *S. vetulus* по сравнению с другими доминирующими видами зеленых водорослей. Доминирующие виды Chlorophyta: *P. morum*, *S. quadricauda*, *D. pulchellum*, *Pteromonas* sp., *O. lacustris* являются потребляемыми для *S. vetulus*.

В конце августа в водоеме $B_{\text{Chlorophyta}}$ составляла 2.4 мг/л (51% B_{ϕ}). В составе Chlorophyta было зарегистрировано 42 вида (максимальное количество за период исследования). Доминирующими по биомассе в составе Chlorophyta были 4 вида водорослей (Таблица). Они составляли 2.0 мг/л (82% $B_{\text{Chlorophyta}}$).

В проточной экосистеме $B_{\text{рпч}}$ составляла 2093 мг/л. Биомасса кладоцер составляла около 100% $B_{\text{рпч}}$ с полным преобладанием *S. vetulus*.

$C_{\text{Chlorophyta}}$ в проточной экосистеме достигало максимального значения за период исследования и составляло 53 мг/(л·сут). Суточное потребление биомассы доминирующих видов водорослей фильтрующим зоопланктоном в экосистеме составляло 44 мг/(л·сут), (83% $C_{\text{Chlorophyta}}$). Их среднее значение количества потребляемых биомасс за сутки составляло 22.8 (Таблица). Суточное потребление

доминирующих видов Chlorophyta пропорционально зависело от величины их биомассы, поступающей с водными массами из водоема в экспериментальную экосистему. Доминирующие виды Chlorophyta являются потребляемыми для фильтратора-фитофага *S. vetulus*. Высокие значения *Z* – количество потребляемых биомасс за сутки доминирующих видов Chlorophyta свидетельствует о практически полном их потреблении в проточной экосистеме одним видом – представителем фильтрующего зоопланктона *S. vetulus*.

Обсуждение результатов и выводы

Исследования Патриарших прудов показали, что при высоком видовом составе зеленых водорослей доминируют по биомассе всего 3-5 их видов. Изоляция рыб-планктофагов и проточность экосистемы способствуют наращиванию биомассы фитофагов *S. vetulus* за счет поступления фитопланктона с водными массами из водоема. Оказалось, *S. vetulus* способен снижать биомассу как одноклеточных, ценобиальных, так и колониальных форм Chlorophyta. Причем снижается биомасса доминирующих видов зеленых водорослей, в том числе колониальных форм – *Coenochloris pyrenoidosa*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Micractinium pusillum*, *Oocystis lacustris*, *Pandorina charkowiensis*, *Pandorina morum*. Снижение биомассы колониальных форм зеленых водорослей происходит за счет дробления и потребления их особями *S. vetulus*. При высокой численности *S. vetulus* (и биении плавающих антенн) происходит дробление крупных колоний. В результате они переходят в размерную группу потребляемых. Кроме того проточность экосистемы способствует разрушению колониальных форм зеленых водорослей. Это увеличивает кормовую базу экосистемы. Высокая численность *S. vetulus* при проточности воды в экосистеме показывает активное участие фильтраторов в снижении биомассы зеленых водорослей, в том числе крупных колониальных форм. Это способствует формированию повышения процессов самоочищения. Так что фильтраторы *S. vetulus* могут воздействовать на развитие зеленых водорослей и повышать качество воды.

Работа выполнена в рамках темы

№ 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) государственного задания Института водных проблем Российской академии наук; работа выполнена в рамках научной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Список литературы

1. Батушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных. Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука. 1979. С. 169–172.

2. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Борьба с цианобактериями использованием зоопланктона в экспериментальной экосистеме // Экологические системы и приборы. 2020. № 6. С. 49–55. DOI: 10.25791/esip.06.2020.1164.

3. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Влияние зоопланктона на развитие водорослей и цианобактерий в экспериментальной экосистеме // Экология промышленного производства. 2020. № 1 (109). С. 43–48.

4. Гутельмахер Б.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г. Питание зоопланктона // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Серия «Общая экология. Биоценология. Гидробиология». 1988. Т. 6. 155 с.

5. Садчиков А.П. Гидробиология: планктон (трофические и метаболические взаимоотношения). М.: ПКЦ Альтекс. 2013. 240 с.

6. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Университет и Школа. 2003. 157 с.

7. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наукова Думка. 1990. 207 с.

8. Amorim C.A., Valença C.R., Mouro-Falcão de R.H., Mouro A. do N. Seasonal variations of morpho-functional phytoplankton groups influence the top-down control of a cladoceran in a tropical hypereutrophic lake. Aquatic Ecology. 2019. Vol. 53. Issue 3. P. 453–464. Доступ: <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09701-8> (дата обращения 14.02.2020).

9. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Changes in Zooplankton Structure in an Experimental System at the Isolation of Plankton-Eating Fish. Russian Journal of General Chemistry. 2020. Vol. 90. № 13. P. 2681–2686. DOI: 10.1134/S107036322013023X.

10. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of Alga Blooming by Zooplankton Filter Feeders in Small Water Bodies. Water Resources. 2018. Vol. 45. № 2. P. 199–204. DOI: 10.1134/S0097807818020070.

11. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of Cyanobacterial Blooms by Zooplankton: Experiments in Natural Water Bodies with the use of Flow-Through Ecosystems. Russian Journal of General Chemistry. 2019. Vol. 89. № 13. P. 2840–2844. DOI: 10.1134/S1070363219130164.

12. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of phytoplankton blooming in Water bodies with the use of Filtering zooplankton in flow-through ecosystems. Water Resources. 2020. Vol. 47. № 2. P. 144–150. DOI: 10.1134/S00978078220020050.

References

1. Balushkina E.V., Vinberg G.G. Zavisimost' mezhdu massoy i dlinoy tela u planktonnykh zhivotnykh [Dependence between mass and body length in planktonic animals]. Obshchie osnovy izucheniya vodnykh ekosistem [General principles for

the study of aquatic ecosystems]. L.: Nauka [Leningrad: Publishing house Science]. 1979. Pp. 169–172.

2. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Bor'ba s tsianobakteriyami ispol'zovaniem zooplanktona v eksperimental'noy ekosisteme [Control of cyanobacteria with the use of zooplankton in an experimental ecosystem]. *Ekologicheskie systemy i pribory* [Ecological Systems and Devices]. 2020. 6. Pp. 49–55.

3. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Vliyaniye zooplanktona na razvitiye vodorosley i tsianobakteriy v eksperimental'noy ekosisteme [Effect of zooplankton on the development of algae and cyanobacteria in an experimental ecosystem]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2020. 1: (109). Pp. 43–48.

4. Gutelmacher B.L., Sadchikov A.P., Filippova T.G. Pitanie zooplanktona [Zooplankton nutrition]. *Itogi nauki i tekhniki. VINITI. Ser. «Obshchaya ekologiya. Biocenologiya. Gidrobiologiya»* [Results of science and technology. VINITI. Ser. «General ecology. Biocenology. Hydrobiology»]. 1988. Vol. 6. 155 p.

5. Sadchikov A.P. *Gidrobiologiya: plankton (troficheskie i metabolicheskie vzaimootnosheniya)* [Hydrobiology: plankton (trophic and metabolic relationships)]. M.: PKC Alteks [Moscow: Publishing house PKC Alteks]. 2013. 240 p.

6. Sadchikov A.P. *Metody izucheniya presnovodnogo fitoplanktona: metod. rukovodstvo* [Methods of studying freshwater phytoplankton: method. Leadership]. M.: Universitet i Shkola [Moscow: Publishing house University and School]. 2003. 157 p.

7. Tsarenko P.M. *Kratkii opredelitel' khlorokokkovykh vodorosley Ukrainskoi SSR* [Short Guide book of Chlorococcal Algae of Ukrainian SSR]. K.: Nauka [Kiev: Publishing house Naukova Dumka]. 1990. 207 p.

8. Amorim C.A., Valença C.R., Mouro-Falcão de R.H., Mouro A. do N. Seasonal variations of morpho-functional phytoplankton groups influence the top-down control of a cladoceran in a tropical hypereutrophic lake. *Aquatic Ecology*. 2019. Vol. 53. Issue 3. Pp. 453–464. Доступ: <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09701-8> (дата обращения 14.02.2020).

9. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Changes in Zooplankton Structure in an Experimental System at the Isolation of Plankton-Eating Fish. *Russian Journal of General Chemistry*. 2020. Vol. 90. N 13. Pp. 2681–2686. DOI: 10.1134/S107036322013023X.

10. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of Alga Blooming by Zooplankton Filter Feeders in Small Water Bodies. *Water Resources*. 2018. Vol. 45. N 2. Pp. 199–204. DOI: 10.1134/S0097807818020070.

11. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of Cyanobacterial Blooms by Zooplankton: Experiments in Natural Water Bodies with the use of Flow-Through Ecosystems. *Russian Journal of General Chemistry*. 2019. Vol. 89. N 13. Pp. 2840–2844. DOI: 10.1134/S1070363219130164.

12. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of phytoplankton blooming in Water bodies with the use of Filtering zooplankton in flow-through ecosystems. *Water Resources*. 2020. Vol. 47. N 2. Pp. 144–150. DOI: 10.1134/S00978078220020050.

Информация об авторах

Герасимова Татьяна Николаевна, канд. биол. наук, н.с.

Институт водных проблем Российской академии наук
119333, Российская Федерация, Москва, ул. Губкина, 3
E-mail: gerasiming@gmail.com

Садчиков Анатолий Павлович, д-р биол. наук, профессор

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, корп. 12

E-mail: aquaecotox@yandex.ru

Information about the authors

Gerasimova Tatiana Nikolaevna, Cand. Sci. Biol., Researcher

Russian academy of sciences Institute of water problems
119333, Russian Federation, Moscow, Gubkina st., 3
E-mail: gerasiming@gmail.com

Sadchikov Anatoliy Pavlovich, Dr. Sci. Biol., Prof.

Moscow State University n.a. M.V. Lomonosov

119991, Russian Federation, Moscow, Leninskie gory, 1, bldg. 12

E-mail: aquaecotox@yandex.ru

С.Ю. Казарова

канд. биол. наук, мл.н.с.

Г.А. Бойко

канд. биол. наук, ст.н.с.

ФГБОУВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
E-mail: ga-boyko@yandex.ru

Фенологический аспект многолетних исследований представителей рода *Acer* L. в дендрарии Ботанического сада МГУ им. М. В. Ломоносова

В статье приводится обобщение итогов многолетней интродукции 25 видов рода *Acer* L. в коллекции дендрария Ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова. Проанализированы феноритмы в основных фазах вегетации, показатели зимостойкости, коэффициенты фенологической атипичности. Выделены феноритмические группы видов клена, установлена зависимость между показателями фенологической атипичности и баллами зимостойкости. Большинство видов клена, хорошо приспособленных к климату Московского региона, имеют отрицательные показатели коэффициента фенологической атипичности от $-1,42$ до $-0,12$. Они входят в фенологические группы с ранним окончанием вегетации. Эти виды регулярно цветут и плодоносят. Некоторые из них постоянно образуют самосевное потомство. Меньшей устойчивостью характеризуются виды с положительными значениями фенологической атипичности ($0,18$ до $1,12$). Они отличаются меньшей зимостойкостью и имеют степень зрелости побегов от 70 до 90%. Они относятся к фенологическим группам видов с поздним окончанием вегетационного сезона.

Ключевые слова: фенология, фенофазы, зимостойкость, *Acer*, акклиматизация, интродукция, фенологическая атипичность.

S.Yu. Kazarova

Cand. Sci. Biol., Junior Researcher

G.A. Boyko

Cand. Sci. Biol., Senior Researcher

Lomonosov Moscow State University

E-mail: ga-boyko@yandex.ru

Phenological aspect of long-term research of representatives of the genus *Acer* L. in the arboretum of the Botanical Garden of Lomonosov Moscow State University

In this study the results of the long-term cultivation of 25 maple species (genus *Acer* L.) available in the open field collection of Lomonosov Moscow State University botanical garden arboretum are presented. The main phenological stages of vegetation period, winter hardiness indices, phenological atypicality coefficients were analyzed. Phenorhythmic groups of maple species were allocated. The correlation between indicators of phenological atypicality and the score of winter hardiness was established. Most maple species of arboretum collection are well adapted to the climate in Moscow region and showed a negative phenological atypicality coefficient from -1.42 to -0.12 . These species belong to phenological groups with an early expiration date of growing period. They flowering and seed production are regular. Some of them constantly form self-sowing generation. Positive values of phenological atypicality (0.18 to 1.12) are associated with lower winter hardiness resistance. Such species are less hardy plants characterized by shoot maturation value from 70 to 90%. They belong to phenological groups of species with a late end of the growing season.

Keywords: *Acer*, phenology, phenophases, winter hardiness, acclimatization, phenological atypicality.

DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2021.1095

Введение

Одним из основных направлений развития исследований в области введения в культуру новых таксонов древесных растений является прогнозирование их реакций на новые для них условия произрастания. При этом полнота прохождения растениями фенологических фаз – важный критерий интродукционной устойчивости растений. Она позволяет в значительной мере оценить адаптационный потенциал и амплитуду приспособления в новом климате, который иногда резко отличается от климата природного ареала интродуктента.

Материалы и методы

В настоящей работе обобщен опыт многолетних наблюдений над некоторыми представителями рода *Acer* L... имеющихся в коллекции открытого грунта в дендрарии ботанического сада биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Фенологические и биометрические наблюдения проводили в течение 10 лет (с 2009 по 2019 год) по методике, рекомендованной Советом ботанических садов [1]. Были использованы данные по 25 таксонам кленов по следующим

фенологическим фазам: набухание почек (начало вегетации), полное разворачивание листьев, начало, окончание, продолжительность цветения, созревание плодов, появление осенней окраски, окончание листопада (конец вегетации). Результаты были обработаны математическими методами. Рассчитывались следующие показатели: средняя арифметическая, стандартная ошибка средней арифметической, квадратическое отклонение [2]. Оценка зимостойкости интродуцентов осуществлялась по 7-бальной шкале Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН [3].

Результаты и обсуждение

Коллекция кленов начала формироваться в 1951 году. В настоящее время она включает 30 видов. По происхождению клены, интродуцированные в БС МГУ, можно разделить на четыре группы: дальневосточную, североамериканскую, европейскую и среднеазиатскую. Данные фенологических наблюдений представлены в таблице 1.

Начало вегетации видов определяется температурным режимом и начинается фазой набухания почек. Интервал начала вегетации кленов с 06.04 (*A. negundo* L.) по 25.04 (*A. velutinum* Boiss.). Наибольший разброс (9–10 дней) в сроках начала вегетации в отдельные годы наблюдался у *A. spicatum* Lam., *A. velutinum* Boiss., *A. mandshuricum* Maxim., *A. pseudoplatanus* L.. Самое раннее разворачивание листьев у исследованных видов приходилось на 08.05 у *Acer saccharinum* L., самое позднее (20.05) – у *A. pseudosieboldianum* (Pax) Kom.

Важным фенологическим показателем декоративных деревьев и кустарников является интенсивность, начало и окончание сроков цветения. Первыми в коллекции зацветают североамериканские виды *A. saccharinum* (19.04) и *A. rubrum* L. (20.04). Рано зацветают (25.04–26.04) европейский вид *A. platanoides* L., дальневосточные клены *Acer tegmentosum* Maxim. и *A. barbinerve* Maxim. Позднее цветение (20.05–25.05) свойственно *A. spicatum*, *A. tataricum* subsp. *ginnala* (Maxim.) Wesm., *A. tataricum* L.. Растения, относящиеся к видам *Acer circinatum* Pursh., *pseudosieboldianum*, *A. saccharinum*, *A. triflorum* Kom., цветут не ежегодно. Два вида кленов, *A. davidii* Franch и *A. velutinum*, не цветут. Разной у кленов была и продолжительность цветения. Наиболее короткий период цветения отмечался у *Acer campestre* L. – 9 дней, самым продолжительным он был у *A. tataricum* – 17 дней.

Плодоношение и наличие самосевого потомства интродуцированных древесных растений являются лучшими показателями их адаптации в новых условиях. Рано плодоносят *A. saccharinum* и *A. rubrum* (12.06–16.06). В более поздние сроки (29.09–30.09) – *A. triflorum* и *A. semenovii* Regel et Herd. Плодоносят, но не ежегодно *A. hyrcanum* subsp. *steverii* (Pojark.) E.M. Murray (плодоношение обильное, семена всхожие), *A. carpinifolium* Sieb. et Zucc., *A. palmatum* Thunb., *A. pensylvanicum* L. У *Acer triflorum* и *A. saccharum* Marshall семена образуются в небольшом количестве, их всхожесть колеблется около 5%. Три вида кленов коллекции – *Acer circinatum*, *A. davidii*, *A.*

velutinum, не плодоносят. Обильный самосев дают такие виды, как *Acer platanoides*, *A. negundo*, *A. pseudoplatanus*, *A. mandshuricum*. Самосевное потомство присутствует у *A. barbinerve*, *A. mono* Maxim., *A. tataricum*, *A. tegmentosum*, *A. spicatum*. Единичный самосев отмечен у *Acer tataricum* subsp. *ginnala* и *A. saccharinum*.

Сроки проявления осенней окраски лежат в интервале от 10.09 (*Acer ginnala*) до 29.09 (*A. pseudosieboldianum*). Наиболее интенсивно в ярко-красные тона окрашиваются *A. mandshuricum*, *A. palmatum*, *A. tataricum* subsp. *ginnala*. У *Acer rubrum* и *A. saccharum* частично окрашивается в красные цвета верхняя часть кроны. Яркую желтую осеннюю окраску стабильно имеют *Acer tegmentosum*, *A. campestre* L., *A. caudatum* subsp. *ukurundense* (Trautw. ex Mey.) E. Murray, *A. spicatum*, а желто-оранжевая и оранжевая характерна для *Acer barbinerve* и *A. mono* Maxim. Сроки окончания вегетации лежали в пределах от 29.09 (*Acer tataricum*) до 16.10–18.10 (*A. carpinifolium* и *A. velutinum*).

Средняя продолжительность вегетационного периода для условий Москвы составляет 181 день [4]. Сезонный ритм развития большинства исследованных видов кленов укладывался в этот интервал. Короткий период вегетации 171–172 дня имели *Acer circinatum*, *A. mono*, *A. spicatum*, *A. saccharum*, *A. mandshuricum*, *A. tegmentosum*. Более продолжительный период вегетации (183–186 дней) был у *Acer barbinerve*, *A. pensylvanicum*, *A. pseudoplatanus*, *A. pseudosieboldianum*.

При анализе фенологических показателей представителей рода *Acer* L. большую помощь оказывает подразделение древесных интродуцентов на фенологические группы по срокам начала и окончания вегетации, предложенное специалистами отдела дендрологии Главного ботанического сада РАН [5]. Такая классификация служит хорошим основанием для оценки связи фенологии растения с его зимостойкостью и уровнем адаптационной способности интродуцента в новых условиях произрастания. Чтобы выявить связь устойчивости таксона со сроками прохождения основных фенологических фаз, все наиболее изученные виды были разделены на феногруппы (таблица 2). Сроки фенофаз и продолжительность вегетации изученных растений практически совпадают с благоприятным периодом вегетации растений природной флоры средней полосы Европейской части России, когда среднесуточная температура воздуха не опускается ниже 5 °С. Пробуждение древесных растений также коррелирует с переходом среднесуточной температуры через 5 °С [6].

Виды, у которых набухание почек происходило до 16.04 (средняя многолетняя дата перехода среднесуточной температуры через 5 °С), отнесены к рано распускающимся, после 16.04 – к поздно распускающимся. Растения, заканчивающие вегетацию (окончание листопада) до 05.10 (средняя многолетняя дата перехода среднесуточной температуры через 5 °С) отнесены к группе с ранним окончанием вегетации, выходящие за эту дату – к поздним [7, 8].

Группа рано начинающих и рано заканчивающих вегетацию (РР) включает в себя 12 видов (таблица 2). По географическому происхождению 40 % растений этой

Таблица 1. Фенологические показатели некоторых видов рода *Acer* L. в дендрарии Ботанического сада МГУ с 2009 по 2019 год

Вид	Начало вегетации	Разворачивание листьев	Начало цветения	Конец цветения	Период цветения, дни	Плодоношение	Окраска листьев	Конец вегетации	Период вегетации, дни
<i>Acer barbinerve</i> Maxim. ex Miq.	11.04±7	11.05±6	26.04±7	11.05±4	15	16.09±6	14.09±5	04.10±8	183
<i>Acer campestre</i> L.	15.04±6	18.05±3	14.05±3	23.05±3	9	21.09±5	22.09±4	12.10±6	180
<i>Acer carpinifolium</i> Sieb. ex Zucc.	21.04±5	20.05±5	17.05±3	27.05±8	10	29.09±6	29.09±7	16.10±4	178
<i>Acer caudatum</i> subsp. <i>ukurundense</i> (Trautw. ex Mey.) E. Murray	15.04±8	17.05±5	20.05±6	04.06±6	14	29.09±7	24.09±6	02.10±5	170
<i>Acer circinatum</i> Pursh	17.04±7	13.05±6	17.05±7	28.05±5	11	-	27.09±8	05.10±5	171
<i>Acer davidii</i> Franch	22.04±6	15.05±5	-	-	-	-	25.09±6	14.10±6	175
<i>Acer hyrcanum</i> subsp. <i>stevanii</i> (Pojark.) E. M. Murray	14.04±7	16.05±5	10.05±3	24.05±2	14	06.10±7	28.09±3	13.10±5	182
<i>Acer mandshuricum</i> Maxim.	16.04±9	16.05±7	14.05±4	26.05±5	12	03.10±7	19.09±6	05.10±8	172
<i>Acer mono</i> Maxim.	11.04±8	13.05±5	16.05±3	26.05±6	10	29.09±5	18.09±7	05.10±4	171
<i>Acer negundo</i> L.	06.04±9	12.05±7	24.04±3	09.05±3	15	07.10±8	19.09±9	04.10±7	179
<i>Acer palmatum</i> Thunb.	22.04±9	18.05±4	05.05±9	17.05±5	12	28.09±7	20.09±8	15.10±7	176
<i>Acer pennsylvanicum</i> L.	11.04±3	15.05±6	18.05±6	02.06±3	14	25.09±6	25.09±6	11.10±4	184
<i>Acer platanoides</i> L.	09.04±7	12.05±3	26.04±7	09.05±5	13	05.10±8	25.09±4	02.10±6	174
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	12.04±10	14.05±7	13.05±8	27.05±8	14	21.09±7	27.09±5	12.10±4	184
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	10.04±8	20.05±7	16.05±4	29.05±7	13	28.09±7	29.09±8	13.10±9	186
<i>Acer rubrum</i> L.	13.04±8	14.05±7	20.04±7	03.05±7	13	16.06±8	20.09±6	04.10±7	174
<i>Acer saccharum</i> Marshall	13.04±6	15.05±4	12.05±7	23.05±5	11	25.09±8	19.09±5	01.10±9	171
<i>Acer saccharinum</i> L.	15.04±9	08.05±7	19.04±5	29.04±6	10	12.06±5	28.09±4	05.10±7	173
<i>Acer semenovii</i> Regel et Herd	12.04±6	12.05±3	12.05±6	25.05±7	13	30.09±8	27.09±6	04.10±6	175
<i>Acer spicatum</i> Lam.	13.04±9	16.05±4	20.05±3	02.06±5	12	19.09±8	23.09±6	01.10±7	171
<i>Acer tataricum</i> L.	10.04±9	12.05±6	25.05±7	12.06±6	17	27.09±6	24.09±9	29.09±8	173
<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.	12.04±7	14.05±7	24.05±3	10.06±4	14	28.09±5	10.09±7	03.10±5	174
<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	13.04±6	18.05±4	25.04±4	10.05±3	15	08.10±6	19.09±7	02.10±4	172
<i>Acer triflorum</i> Kom.	18.04±7	15.05±5	10.05±6	22.05±5	12	29.09±7	28.09±8	07.10±8	172
<i>Acer velutinum</i> Boiss.	25.04±10	16.05±6	-	-	-	-	-	18.10±6	176

Таблица 2. Биометрические данные, зимостойкость и коэффициенты фенологической атипичности некоторых видов рода *Acer* L. в дендрарии Ботанического сада МГУ

Вид	Происхождение образца	Дата посадки в коллекцию	Высота, диаметр кроны, м	Балл зимостойкости	Вызревание побегов, %	Фено-группа	ФА/балл
<i>Acer harbinense</i> Maxim. ex Miq.	саженцы из Дальневосточного заповедника	1955, 1991	6/7	I	100	РР	-0,84/4
<i>Acer campestre</i> L.	семена из Ташкента, саженцы из Главного ботанического сада (ГБС)	1952, 1953	12/7	I	100	РП	-0,19/4
<i>Acer carpinifolium</i> Sieb. ex Zucc.	семена из Бот. сада г. Саппоро (Япония)	1981	2,5/3	II(IV)	70-80	ПП	1,12/6
<i>Acer caudatum</i> subsp. <i>ukurundense</i> (Trautw. ex Mey.) F. Murray	семена из Приморского края, саженцы с Сахалина	1962, 2004	4/3	I	100	РР	-0,83/4
<i>Acer circinatum</i> Pursh	саженцы из Липецкой опытной станции (ЛОСС)	1965	3/4,5	I-III	100	ПР	0,61/5
<i>Acer davidii</i> Franch	саженцы из ГБС	1977	7/2,5	I-III	80-100	ПП	0,38/5
<i>Acer hyrcanum</i> subsp. <i>svevicii</i> (Pojark.) F. M. Murray	семена из Никитского ботанического сада	1957	12/6	II(III)	80-90	РП	0,18/5
<i>Acer mandchuricum</i> Maxim.	семена из Уссурийского заповедника	1956, 1960	18/8	I	100	ПР	-0,42/4
<i>Acer mono</i> Maxim.	семена из ЛОСС и Приморья	1956, 1962	18/10	I	100	РР	-0,12/4
<i>Acer negundo</i> L.	семена из ГБС	1952, 1954	10/8	I	100	РР	-1,22/3
<i>Acer palmatum</i> Thunb.	семена из Батуми	1965	5/4	II(IV)	80-90	ПП	0,82/5
<i>Acer pensylvanicum</i> L.	семена из Камышинского питомника	1969	7/3	I	100	РП	-0,85/4
<i>Acer platanoides</i> L.	саженцы из ЛОСС	1952	20/10	I	100	РР	-1,42/3
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	саженцы из ЛОСС	1953	20/10	I(III)	100	РП	0,29/5
<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	семена из Владивостока, парка Ленино	1960, 1982	5/3	I(II)	100	РП	-0,56/4
<i>Acer rubrum</i> L.	саженцы из Московского лесоконбината. ЛОСС	1951, 1952	17/5	I(II)	100	РР	-0,63 /4
<i>Acer saccharum</i> Marshall	семена из Канады	1971	16/7	I	100	РР	-0,61/4
<i>Acer saccharinum</i> L.	саженцы из ГБС, ЛОСС	1952	18/16	I	100	РР	-0,76/4
<i>Acer semenovii</i> Regel et Herd	семена из ГБС, Камышина	1956, 1959	3/4	I	100	ПР	-0,88/4
<i>Acer spicatum</i> Lam.	семена из Пензенского БС, саженцы из ТСХА	1962, 1995	5/3	I	100	РР	-0,83/4
<i>Acer tataricum</i> L.	семена из ГБС, Сталинабада (Душанбе)	1958, 1960	4/5	I	100	РР	-0,86/4
<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Westm.	семена из ГБС, Акад. коммунального хозяйства	1955, 1988	4/4	I	100	РР	-0,95/4
<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.	семена из ГБС, ТСХА, станция Окская	1957, 1961	12/4	I	100	РР	-0,63 /4
<i>Acer triflorum</i> Kom.	семена из ГБС	1983	6/3	I(II)	90-100	ПР	0,96/5
<i>Acer velutinum</i> Boiss.	семена из Душанбе	1961	1,5/3	II(III)	80-90	ПП	1, 09/6

группы относятся к региону Северной Америки. 30 % – к Дальнему Востоку. 10 % – к Европейской флоре. 20 % – к региону Юго-Западной и Восточной Азии. Представители этой группы наиболее зимостойки. степень одревеснения их побегов составляет 100 % (I балл по шкале зимостойкости ГБС РАН). Все данные виды цветут и плодоносят.

Группа рано начинающих и поздно заканчивающих вегетацию (РП) объединяет 5 видов. при этом степень их зимостойкости оцениваются в баллах как I, I(II) и I(III). Виды, объединенные в этой группе, произрастают в Центральной и Восточной Европе, Северной Америке, Северо-Восточном Китае и Корее. Многие виды данной группы ежегодно цветут и плодоносят.

Группа поздно начинающих и рано заканчивающих вегетацию (ПР) включает три вида с зимостойкостью I и I-III. Виды группы имеют короткий период вегетации.

Группа поздно начинающих и поздно заканчивающих вегетацию (ПП) включает 5 видов. Это представители Северо-Восточного и Центрального Китая, Японии (острова Хонсю и Кюсю), Восточного Закавказья. Степень зимостойкости видов данной группы оценивалась в I-II, II-III и II(IV) балла. Степень одревеснения побегов 70–90 %. Цветение и плодоношение у этих видов не ежегодное или же вовсе отсутствует.

В фенологических исследованиях немаловажное значение имеет взаимосвязь фенофаз отдельного вида между собой и степень их опережения или отставания от массы фенодат других интродуцентов. т.е. степень фенологической атипичности (далее – ФА) наблюдаемых видов. В данной работе для анализа атипичности фенофаз интродуцируемых кленов нами была принята методика, предложенная Г.Н. Зайцевым [9].

В таблице 2 приведены значения ФА интродуцированных видов кленов, а также балльная оценка показателей от 3 до 6. в которой минимальный балл означает большее соответствие фенологии вида условиям среды и наоборот. Диапазон от –1 до +1 считается нормой. Отклонения, находящиеся вне этого интервала, считаются тем более атипичными, чем более они отклоняются по модулю от числа 1. Знак показателя указывает, в какую сторону (запаздывания или более раннего наступления) отклоняются фенодаты данного вида. Если величина показателя получается отрицательной, значит фенодаты проходят в сроки раньше средних многолетних значений, а наблюдаемый экземпляр хорошо укладывается в вегетационный период данной местности и некоторая часть вегетационного периода даже остается как бы «неиспользованной». Положительный знак показателя дает основание заключить, что при большей величине ФА растение может не успеть закончить сезонный цикл своего развития в данный вегетационный период. Чем больше степень запаздывания фенофаз, тем больше величина показателя атипичности и степень несоответствия растения данным условиям произрастания.

Отрицательный показатель ФА с баллами 3 и 4 имеют 17 видов (68 %). большинство из которых составляют группу РР. Минимальный балл 3 и самые ранние сроки начала вегетации имеют *A. negundo* и *A. platanoides* с

показателями ФА –1.22 и –1.42. соответственно. Это значит, что виды укладываются в данный вегетационный период с некоторым излишком, могут расти в несколько более холодном климате.

Десять видов имеют балл 4. зимостойкость I и I(II) балла. Показатель ФА варьирует от –0.12 (*A. mono*) до –0.95 (*A. tataricum* subsp. *ginnala*) т. е. они находятся в верхней половине области нормы (супернорма) и их фенолитмы соответствуют условиям среды района интродукции.

Шесть видов (24 %) имеют балл 5. ФА варьирует от 0.18 (*A. hyrcanum* subsp. *stevenii*) до 0.96 (*A. triflorum*). Эти виды представители групп РП, ПР, ПП. Зимостойкость данных кленов оценивалась в I-II, III, II (IV) баллов.

Два вида (8 %). *A. carpinifolium* и *A. velutinum* (группа ПП), имеют балл 6 с показателями ФА 1.12 и 1.09. соответственно. Первый вид клена произрастает в среднегорном поясе островов Хонсю, Кюсю и Сикоку. Родинкой второго вида является Восточное Закавказье и Иран. Они наименее адаптированы к условиям Московского региона. Балл зимостойкости в разные годы у них составлял II(IV) и II(III). *Acer carpinifolium* до 2003 года полностью укрывался на зиму еловым лапником. Позднее утеплялся пристволный круг и основание ствола. В наиболее суровые зимы обмерзал до 4-5 летней древесины. *Acer velutinum* в суровые зимы обмерзает до уровня снега. зимует при укрытии лапником.

Высота интродуцированных кленов значительно различалась между собой. *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. mono*, *A. mandshuricum* в культуре достигают высоты 18–20 м при диаметре кроны 8–10 м. Деревья небольшой величины (высота 4–7 м и диаметр кроны 3–4 м) представляют *Acer davidii*, *A. palmatum*, *A. tataricum* subsp. *ginnala*, *A. tataricum*, *A. triflorum*. Высота *A. velutinum* и *A. carpinifolium* из-за ежегодного обмерзания в культуре не превышает 1.5–2.5 м.

В 2010–2016 годах коллекция кленов пополнилась следующими видами: *Acer japonicum* Thunb., *A. rufrinerve* Siebold et Zucc., *A. cappadocicum* subsp. *divergens* (K. Koch ex Paxton), *A. E. Murray*, *A. heldreichii* subsp. *trautvetteri* (Medw.) A. E. Murray; их зимостойкость оценивалась в I и I (II) балла. Количество лет наблюдений и полученных фенологических данных для этих таксонов пока еще недостаточны для достоверной математической обработки и определения ФА.

Заключение

Большинство представителей рода *Acer* L. коллекции дендрария ботанического сада МГУ им. М.В. Ломоносова вполне адаптированы к климатическим условиям Московского региона. Об этом свидетельствуют значения зимостойкости и показатели фенологических наблюдений. У большинства видов отмечается регулярное цветение и плодоношение. Многие из них весьма перспективны для включения в озеленительный ассортимент.

Установлено, что сроки прохождения основных фенофаз у видов кленов хорошо соотносятся с показателями

их зимостойкости и принадлежностью к фенологической группе.

Наибольшей приспособленностью к умеренно континентальному климату Средней полосы России с баллом I обладают представители рода, имеющие отрицательные показатели ФА со значениями от -1.42 до -0.12 , входящие в фенологические группы рано начинающих, рано заканчивающих вегетацию (РР) и поздно начинающих, рано заканчивающих вегетацию (ПР). Степень одревеснения побегов у представителей этих групп 100 %. Цикл их сезонного развития полностью соответствует вегетационному периоду района интродукции, высокая зимостойкость стабильна по годам. Растения данной группы в основном имеют природные ареалы в районах умеренного климата Дальнего Востока, Китая, Японии, Европы, Северной Америки.

Менее зимостойкими оказались виды, входящие в группу поздно начинающих, поздно заканчивающих вегетацию (ПП) с показателями ФА от 0.18 до 1.12 и баллами зимостойкости II(III), II(IV). Степень одревеснения побегов у видов 70–90 %. Их ареал произрастания Северо-восточный и Центральный Китай, Япония, Восточное Закавказье.

Список литературы

1. Александрова М.С., Булыгин Н.Е., Ворошилов В.Н., Карпишенова Р.А., Плотникова Л.С., Фролова Л. А., Шкутко Н. В. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюл. Гл. ботан. сада. 1979. Вып. 113. С. 3–8.
2. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука. 1984. 120 с.
3. Плотникова Л.С., Александрова М.С., Беляева Ю.Е., Немова Е.М., Рябова Н.В., Якушина Э.И. Древесные растения Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина Российской академии наук. 60 лет интродукции. М.: Наука. 2005. 586 с.
4. Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2018 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова. – ООО МАКС Пресс. 2019. 227 с.
5. Лапин П.И., Сиднева С.В. Определение перспективности растений для интродукции по данным фенологии // Бюл. Гл. ботан. сада. 1968. Вып. 69. С. 14–21.
6. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука. 1974. 180 с.
7. Шнелле Ф. Фенология растений. Л.: Гидрометеиздат. 1961. 259 с.
8. Лапин П.И., Рябова Н.В. Некоторые проблемы практики интродукции древесных растений в ботанических садах // Исследование древесных растений при интродукции. – М.: Наука. 1982. С. 5–29.

9. Зайцев Г. Н. Фенология древесных растений. М.: Наука. 1981. 140 с.

References

1. Alexandrova M.S., Bulygin N.E., Voroshilov V.N., Karpinsonova R.A., Plotnikova L.S., Frolova L.A., Shkutko N.V. // Metodika fenologicheskikh nablyudenii v botanicheskikh sadakh SSSR [Methods of phenological observations in botanical gardens of the USSR] // Byulleten GBS AN SSSR [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR]. 1979. Vol. 113. P. 3–8. (in Russ.)
2. Zaytsev G.N. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. – M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Nauka»]. 1984. 120 p. (in Russ.)
3. Plotnikova L.S., Aleksandrova M.S., Belyaeva Yu.Ye., Nemova Ye.M., Ryabova N.V., Yakushina E.I. Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada im. N. V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk. 60 let introduktsii [Woody plants of the Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. 60 years of introduction]. – M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Nauka»]. 2005. 586 p. (in Russ.)
4. Ekologo-klimaticheskie kharakteristiki atmosfery Moskvy v 2018 g. po dannym Meteorologicheskoi observatorii MGU imeni M.V. Lomonosova [Ecological and climatic characteristics of the atmosphere of Moscow in 2018 according to the Meteorological Observatory of the Lomonosov Moscow State University]. – LLC MAKS Press. 2019. –227 p. (in Russ.)
5. Lapin P.I., Sidneva S.V. Opredelenie perspektivnosti rastenii dlya introduktsii po dannym fenologii [Determination of plant perspective for introduction according to phenology] // Byulleten GBS AN SSSR [Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR]. 1968. Vol. 69. P. 14–21. (in Russ.)
6. Beydeman I.N. Metodika izucheniya fenologii rastenii i rastitelnykh soobshchestv [Methods of studying phenology of plants and plant communities]. – Novosibirsk: Nauka [Novosibirsk: Publishing house «Nauka»]. 1974. 139 p. (in Russ.)
7. Shnelle F. Fenologiya rasteniy [Plant Phenology]. – L.: Gidrometeoizdat [Leningrad: Publishing house «Gidrometeoizdat»]. 1961. 259 p. (in Russ.)
8. Lapin P.I., Ryabova N.V. Nekotorye problemy praktiki introduktsii drevesnykh rasteniy v botanicheskikh sadakh // Issledovanie drevesnykh rasteniy pri introduktsii [Some problems of the practice of introduction of woody plants in botanical gardens // Research of woody plants in the introduction]. – M.: Nauka [Moscow: Publishing house «Nauka»]. 1982. P. 5–29. (in Russ.)
9. Zaytsev G. N. Fenologiya drevesnykh rastenii [Phenology of woody plants]. – M.: [Moscow: Publishing house «Nauka»]. 1981. 120 p. (in Russ.)

Информация об авторах

Казарова Светлана Юрьевна, канд. биол. наук, мл.н.с.
 Бойко Григорий Александрович, канд. биол. наук, ст.н.с.
 E-mail: ga-boyko@yandex.ru
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
 119991 Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

Information about the authors

Kazarova Svetlana Yuryevna, Cand. Sci. Biol., Junior Researcher
 Boyko Gregory Aleksandrovich, Cand. Sci. Biol., Senior Researcher
 E-mail: ga-boyko@yandex.ru
 Federal State Budgetary Institution of Higher Education Lomonosov Moscow State University
 119991 Russian Federation, Moscow, Lenin Hills, 1

И.Н. Липпонен
аспирант

О.А. Гончарова

канд. биол. наук, ст.н.с.

Федеральное бюджетное учреждение науки
Полярно-альпийский ботанический сад-
институт им. Н.А. Аврорина Кольского науч-
ного центра Российской академии наук (Ми-
нистерство высшего образования и науки
Российской Федерации)
E-mail: lipponen-in@yandex.ru

Коллекция интродуцированных рас- тений черемухи и комплексная оцен- ка жизнеспособности и декоратив- ности в Арктической зоне России (Кольский полуостров)

В работе представлены результаты анализа состава коллекции интродуцированных растений черемуха и комплексной оценки жизнеспособности и декоративности образцов черемухи при интродукции на Кольский Север. В коллекции 38 образцов черемухи 4 видов, 1 подвида и 2 форм. Растения имеют семенное происхождение, в интродукционном эксперименте образцы находятся от 6 до 84 лет. Образцы черемухи в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте являются вполне жизнеспособными высокодекоративными цветущими и плодоносящими растениями. Декоративность снижается с увеличением возраста растений, с изреживанием кроны вследствие повреждения черемуховым галловым клещом.

Ключевые слова: интродукция, жизнеспособность, декоративность, комплексная оценка, черемуха, *Padus* Mill., *Prunus* L., Кольский полуостров, коллекция растений.

I.N. Lipponen

postgraduate student

O.A. Goncharova

Cand. Sci. Biol, Senior Researcher

Federal Budgetary Institution of Science Polar-
Alpine Botanical Garden-Institute named after

N.A. Avrorin of the Kola Scientific Center of
the Russian Academy of Sciences (Ministry of
Higher Education and Science of the Russian
Federation)

E-mail: lipponen-in@yandex.ru

Collection of introduced bird cherry plants and a comprehensive assessment of viability and decorativeness in the Arctic zone of Russia (Kola Peninsula)

Academic paper presents results of the collection of introduced cherry plant composition analysis of the of the plants and comprehensive assessment of the viability and decorativeness of the samples of the cherry in the introduction on the Kola North. In the collection of 38 samples of the chereher 4 species, 1 subspecies and 2 forms. Plants have seed origin, in the introduction experiment, samples are from 6 to 84 years. Samples of the cherry in the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute are quite viable highly elective blooming and fruiting plants. Decorativeness is reduced with an increase in the age of plants, with the progress of the crown due to the damage to the cheremakh gallbo mite.

Keywords: introductions, viability, decorative effect, comprehensive assessment, bird cherry, *Padus* Mill., *Prunus* L., Kola Peninsula, collection of plants.

DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2021.1096

Введение

Приоритетными направлениями в деятельности ботанических садов является интродукция и акклиматизация растений. За свой длительный исторический период многие ботанические сады смогли собрать богатейшие коллекции. при сборе которых в первую очередь большое внимание уделялось сбору полезных растений [1]. Понятие полезности растения достаточно широко но. в

конечном счете, субъективно и всегда будет завесить от потребностей субъекта. Так, в условиях Крайнего Севера. наряду с жизнеспособностью интродуцента, полезность может быть обусловлена его декоративными качествами. Обуславливается это первую очередь тем, что естественная дендрофлора Кольского полуострова в силу сложных климатических условий небогата декоративными видами. а интродуцированные виды часто превосходят аборигенные именно по декоративным показателям.

Круг работ посвященных различным вопросам изучения растений рода *Padus* достаточно широк. В последние годы становится все больше работ представляющие результаты комплексных исследований, включающие в себя изучение сезонного развития, морфометрических параметров, биохимического состава, эколого-физиологических особенностей растения и популяций в целом [2, 3, 4], особое внимание уделяется вопросу поражения болезнями и вредителями [5, 6], а так же изучению прочих негативных воздействий [7].

Целью исследования является анализ состава коллекций интродуцированных растений черемуха (род *Prunus* L.) и их комплексная оценка жизнеспособности и декоративности растений при интродукции на Кольский полуостров.

Материалы и методика исследований

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ) расположен за Полярным Кругом (67°38' с.ш.) и сегодня является самым северным в России. Исторически коллекционный фонд древесных растений ПАБСИ размещался на двух площадках в городах Кировск и Апатиты. Первые посадки в коллекцию древесных растений в г. Кировск датированы 1931 годом (год основания ПАБСИ), а в г. Апатиты в 1958 годом, и продолжают пополняться по настоящее время. Обе территории расположены в 120 км севернее Полярного Круга на расстоянии 15 км друг от друга. Казалось бы, приполярное расположение ПАБСИ должно было определить безусловную суровость природных условий, однако близость теплого течения Гольфстрим обусловило их благоприятность, по сравнению с другими заполярными районами.

По данным посевных журналов за 86 лет (с 1934 г.) в ПАБСИ было испытано 18 таксонов (10 видов, 3 формы, 1 разновидность, 1 подвид, 1 сорт и 2 гибрида) в количестве 315 образцов. Динамика введения образцов в интродукционный эксперимент представлена на рисунке 1.

В первые годы введение в эксперимент носит стихийный характер и характеризуется относительно продолжительными перерывами (от 2 х и более лет) с отдельными годами в которые введение в эксперимент насчитывает от 1 до 5 образцов черемухи в год. Первый пик приходится на 1955-1959 гг. и связан с началом работ на экспериментальном участке (увеличение посадочных площадей). Второй пик связан с началом работ по подбору растений для создания дендрария северных и высокогорных видов в 1979-1980 гг. В 1964 г. отмечен скачок – 6 из 8 образцов черемухи, введенных в эксперимент, были *P. maackii*. Начиная с 1989 г. наблюдается относительная стабильность и периодичность (перерывы не превышают года, в отдельных случаях двух лет). Максимальное количество образцов введено в испытание в 2015 г. (28 образцов), и это было обусловлено целями восстановления коллекции черемух пострадавших от повреждения *Eriophyes padi* (Nal) – галловый черемуховый клещ. Удаление пораженных черемух (более 20 образцов) произошло в 2014 г., в связи с чем *Prunus virginiana* var. *melanocarpa* (A.Nelson) Sarg. – черемуха виргинская разновидность черноплодная выпала из состава коллекции полностью. При этом стоит отметить, что не все растения черемухи подвержены этому воздействию, так на *P. maackii*, произрастающей в непосредственной близости с пораженным растением, признаки заражения не наблюдаются. В большей степени, вероятно, потому что сезонное развитие растения и клеща не совпадают во времени (*P. maackii* вступает в вегетацию позже *P. padus*). Предполагается дальнейшее изучения данного вопроса. Среднее число образцов вводимых в эксперимент, составляет 3-4 образца в год. При расчете среднего значения образцов учитывались все годы, в том числе те, в которые введение в эксперимент образцов черемухи отсутствовало.

За 90-летнюю историю Сада в коллекции осталось 12,34% от общего числа испытанных образцов черемухи, так как основная часть растений передавалась в озеленение, в связи с чем не вошла в состав коллекции (рис. 2).

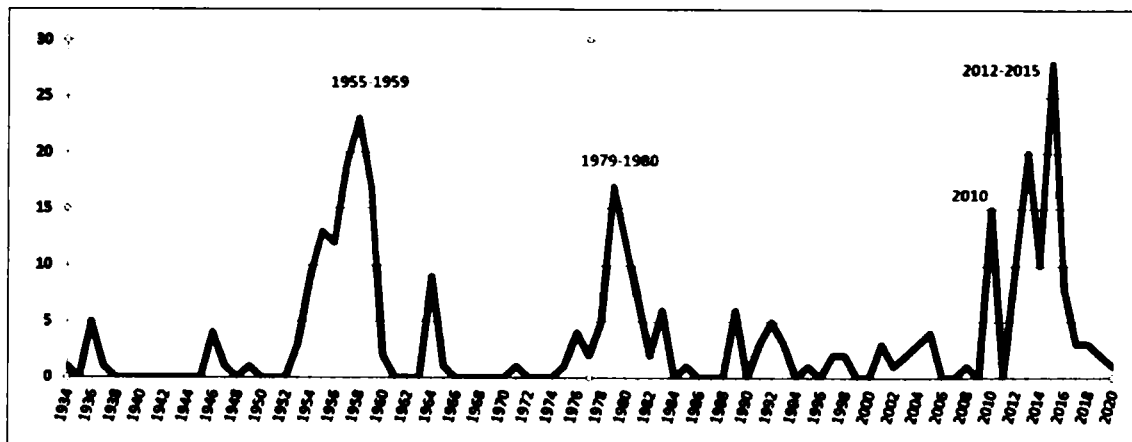


Рис. 1. Введение образцов черемухи в интродукционный эксперимент с 1934 по 2020 гг.

Интродукция и акклиматизация



Рис. 2. Соотношение общего количества испытанных образцов и общего числа образцов черемухи в коллекции на 1 ноября 2020 г.

Однако существуют и другие причины выпада, такие как, невсхожесть семян, повреждение семян и всходов грызунами, обмерзание побегов и повреждения болезнями и вредителями.

По состоянию на 2020 г. в состав коллекционного фонда древесных растений ПАБСИ входят растения 27

семейств, 57 родов, 274 видов и 79 внутривидовых таксонов (22 подвида, 15 разновидностей, 16 форм, 26 сортов), 21 гибрид, всего 374 таксона, 815 образцов. Систематическая принадлежность 14 образцов определена до рода.

Ниже приведен список интродуцированных растений черемухи.

Таблица 1. Список интродуцированных растений черемухи в ПАБСИ

№п/п	Название растения	Год	Происхождение исходного материала	Место произрастания
1	<i>Prunus padus</i> L.	1980	ск Якутия	А
2	<i>P. padus</i>	1989	сд р. Дянышка, Якутия	А
3	<i>P. padus</i>	1982	сд г. Ключи, Камчатка	А
4	<i>P. padus</i>	1981	ск Мешерское, Липецкая область	А
5	<i>P. padus</i>	1947	сд Мурманская область	К
6	<i>P. padus</i>	1936	ск Иркутск	К
7	<i>P. padus</i>	1971	жрк Иркутск	К
8	<i>P. padus</i>	1989	ск Торнио, Финляндия	К
9	<i>P. padus</i>	1979	сд Йозенсуу, Финляндия	А
10	<i>P. padus</i>	2013	ск 2013 Якутск	А
11	<i>P. padus</i>	2012	ск 2012 Санкт-Петербург	А
12	<i>Prunus padus</i> L. f. <i>commutata</i> Dippel	1946	ск Архангельск	К

Интродукция и акклиматизация

13	<i>Prunus padus</i> L. f. <i>colorata</i> Almqvist	1993	жрк Торнио. Финляндия	К
14	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2004	чк от жрк 1989 Торнио. Финляндия	К
15	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	1992	ск Торнио. Финляндия	А
15a	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	1992	ск Торнио. Финляндия	К
16	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	1989	жрк Торнио. Финляндия	А
17	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	1991	ск Торнио. Финляндия	А
18	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2010	св. репр. 1 от ск 1992 Торнио. Финляндия	А
19	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2011	чк от ск 1992 Торнио. Финляндия	А
20	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2013	чк от ск 1992 Торнио. Финляндия	А
21	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2002	ск от ск 1992 Торнио. Финляндия	К
22	<i>Prunus padus</i> L. ssp. <i>borealis</i> (Schü- beler) Cajander	1989	ск Апатиты	А
23	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	1989	ск Апатиты	А
23a	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	1989	ск Апатиты	А
24	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	1975	жрд Хабозеро. Мурманская область	А
25	<i>Prunus grayana</i> Maxim.	2014	ск Архангельск	А
26	<i>P. grayana</i>	2013	ск Архангельск	А
27	<i>Prunus maackii</i> Rupr.	1978	ск Сортавала	К
28	<i>P. maackii</i>	1978	сд Дальний Восток	А
29	<i>P. maackii</i>	2013	ск Н.Новгород	А
30	<i>P. maackii</i>	2013	ск Красноярск	А
31	<i>P. maackii</i>	2013	ск Архангельск	А
32	<i>P. maackii</i>	2014	ск Красноярск	А
33	<i>Prunus pensylvanica</i> L.f.	1977	ск Самара	А
34	<i>P. pensylvanica</i>	1997	жрк Архангельск	А
35	<i>Prunus virginiana</i> L.	1979	сд Монреаль. Канада	А
36	<i>P. virginiana</i>	1980	ск Петрозаводск	А
37	<i>P. virginiana</i>	2004	жрк Архангельск	К
38	<i>P. virginiana</i>	2013	ск Горнотаежное	А

Год – год введения в эксперимент. ск / сд – семена культурного / природного происхождения. жрд / жрк – живые растения культурного / природного происхождения. чк - черенки от растений культурного происхождения: К – Кировск. А - Апатиты

Интродукция и акклиматизация

В коллекционном фонде древесных растений ПАБСИ находятся 38 образцов черемухи, что составляет 5% от общего фонда коллекции. При этом растения черемухи по количественному показателю занимают 6 место в коллекции среди покрытосеменных растений. В основном растения имеют семенное происхождение (76.3%), в интродукционном эксперименте образцы находятся от 6 до 84 лет.

Жизнеспособность оценивали по шкале, предложенной Лапиным П.И., Сидневой С.В. [8]. Анализировали степень одревеснения годичного побега, зимостойкость, сохранение формы роста, побегообразовательную способность, прирост в высоту, способность к генеративному развитию, способы размножения в культуре. Декоративные качества исследуемых растений оценивали по шкале Залывской О.С., Бабица

Н.А. [9]. При оценке декоративных качеств изучали архитектуру кроны, зимостойкость, поврежденность, привлекательность плодов, продолжительность облиствения и осеннюю окраску листьев, аромат растения, характеристики цветения: обилие и длительность цветения, окраску и величину цветков. Материалом для проведения оценки жизнеспособности и декоративности послужили результаты наблюдений за жизнедеятельностью интродуцированных образцов черемухи в течение 2001-2019 гг.

Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлена оценка жизнеспособности исследуемых образцов.

Таблица 2. Оценка жизнеспособности интродуцированных образцов черемухи

№п/п	Название растения	Одр Пб	Зим.	Габи-тус	Пб спос	При-рост	Ген. разв	Размн.	Баллы / ЖС
1	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
2	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
3	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
4	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
5	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	2	23	7	90/2
6	<i>P. padus</i>	15	20	10	1	2	25	7	80/2
7	<i>P. padus</i>	15	20	10	1	2	25	7	80/2
8	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	23	7	93/1
9	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
10	<i>P. padus</i>	20	25	5	3	2	23	7	85/2
11	<i>P. padus</i>	20	25	10	3	5	23	7	93/1
12	<i>P. padus</i> f. <i>commutata</i>	15	20	10	3	5	23	7	83/2
13	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
14	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	25	7	95/1
15	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
15a	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
16	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	25	7	95/1
17	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	20	1	1	2	23	7	74/3
18	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	20	1	1	2	23	7	74/3
19	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	23	10	96/1
20	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1

Интродукция и акклиматизация

21	<i>P. padus f. colorata</i>	20	25	10	3	5	20	20/1	84/1
22	<i>P. padus ssp. borealis</i>	20	20	10	3	5	23	7	88/2
23	<i>P. padus ssp. borealis</i>	15	10	5	1	2	20	1	54/4
23a	<i>P. padus ssp. borealis</i>	15	10	5	1	2	20	1	54/4
24	<i>P. padus ssp. borealis</i>	10	10	1	1	2	15	1	40/5
25	<i>P. grayna</i>	15	20	5	3	2	15	1	61/3
26	<i>P. grayna</i>	15	10	5	1	2	20	1	54/4
27	<i>P. maackii</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
28	<i>P. maackii</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
29	<i>P. maackii</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
30	<i>P. maackii</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
31	<i>P. maackii</i>	20	25	10	3	2	23	7	90/2
32	<i>P. maackii</i>	15	20	10	1	2	25	7	80/2
33	<i>P. pensylvanica</i>	15	20	10	1	2	25	7	80/2
34	<i>P. pensylvanica</i>	20	25	10	3	5	23	7	93/1
35	<i>P. virginiana</i>	20	25	10	3	5	25	10	98/1
36	<i>P. virginiana</i>	20	25	5	3	2	23	7	85/2
37	<i>P. virginiana</i>	20	25	10	3	5	23	7	93/1
38	<i>P. virginiana</i>	15	20	10	3	5	23	7	83/2

Одр Пб – одревесневшая часть побегов в %, баллы; Зим. - зимостойкость, баллы; Габитус – сохранение формы роста, баллы; Пб спос – побегообразовательная способность, баллы; Прирост – прирост в высоту, баллы; Ген.разв– способность к генеративному развитию, баллы; Размн. –способы размножения в культуре: Баллы / ЖС – сумма баллов / группа жизнеспособности

В группу I вполне перспективных и жизнеспособных включили 11 образцов из г. Апатиты и 4 с площадки в г. Кировск. Годичные побеги черемух, входящих в группу вполне перспективных растений, одревесневают на 75-100% своей длины. Растения зимостойки, имеют среднюю побегообразовательную способность, благодаря этому сохраняют свой габитус. Образцы черемухи группы I цветут, семена созревают нерегулярно или ежегодно, размножение в культуре возможно вегетативным способом, искусственным посевом, встречается самосев.

Группа II (жизнеспособные и перспективные) включает в себя шесть образцов. Образцы, входящие в группу жизнеспособных имеют оценку в 80-90 баллов. В группу II отнесли высокзимостойкие образцы (1 и 2 балла). Годичные побеги одревесневают на 75-100%. Жизненная форма сохраняется. Побегообразовательная способность средняя, прирост в высоту не ежегодный. Образцы достигли генеративного этапа онтогенеза, отмечается ежегодное или нерегулярное созревание семян. В культуре растения

группы II размножение возможно при искусственном посеве семян местной репродукции и вегетативным способом.

В группу менее жизнеспособных (группа III) отнесли три образца черемухи, имеющих оценку жизнеспособности 61-74 балла. Годичные побеги менее жизнеспособных растений одревесневают на 75%, вследствие этого возможно обмерзание до 50% годичного прироста. Побегообразовательная способность низкая и средняя. Образец 37 (*P. virginiana*) цветет, но не плодоносит, образцы 22 и 23 цветут и плодоносят нерегулярно, для размножения в культуре требуется посев семян своей репродукции или полученных из других регионов.

В группу IV (маложизнеспособные) отнесли три образца из г. Апатиты, чья жизнеспособность оценивается в 54 балла. Годичные побеги одревесневают на 50-75%, слабозимостойкие растения, обмерзают побеги старше 1 года, побегообразовательная способность низкая, жизненная форма способна восстанавливаться.

Интродукция и акклиматизация

В группу нежизнеспособных отнесли один образец *P. virginiana*, у которого побеги одревесневают на 50%. Для образца характерны балл зимостойкости 4, низкая по-

бегообразовательная способность, отсутствие цветения, габитус не сохраняется.

В таблице 3 представлена оценка декоративности исследуемых образцов.

Таблица 3. Оценка декоративности интродуцированных образцов черемухи

№ п/п	Название растения	Кро-на	ДЦ/О	В/Пл.	Аро-мат	Окр./Обл.	П/Зим.	Баллы/Д
1	<i>P. padus</i>	3.5	3/3	3/4	2	4/4	3/5	34.5/ II
2	<i>P. padus</i>	4	3/2	3/4	2	4/4	4/5	35/ II
3	<i>P. padus</i>	3	3/3.5	3/4	2	4/4	4/5	35.5/ II
4	<i>P. padus</i>	3.5	3/4	5/4.5	2	3.5/4	4.5/5	39/ II
5	<i>P. padus</i>	3	2.5/2	3.5/3	1.5	4/3.5	3.5/5	31.5/ II
6	<i>P. padus</i>	3	2.5/2.5	3/3	2	4/3.5	4/4.5	32/ II
7	<i>P. padus</i>	3	3/2	3/3	2	4/3.5	4./4.5	32/ II
8	<i>P. padus</i>	3.5	3/2	3.5/3.5	3	4.5/2.5	3/5	33.5/ II
9	<i>P. padus</i>	3.5	3/5	5/4.5	2	3.5/4	4.5/5	40/ II
10	<i>P. padus</i>	2	3/2	3/3	2.5	3.5/3.5	3.5/4.5	30.5/ III
11	<i>P. padus</i>	3.5	3/2	3.5/3.5	3	4.5/2.5	3/5	33.5/ II
12	<i>P. padus</i> f. <i>commutata</i>	3	3/2	3.5/3	3	4.5/3.5	4/4	33.5/ II
13	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	3.5	3/5	5/5	2	4.5/4	4/5	40.5/ I
14	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	3	3/2.5	3.5/3	3.5	4.5/2.5	3/5	33.5/ II
15	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	3.5	3/5	5/5	2	4.5/4	4/5	40.5/ I
15a	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	3.5	3/5	5/5	2	4.5/4	4/5	40.5/ I
16	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	3	3/2	3.5/3	3.5	4.5/2.5	3/4.5	32.5/ I
17	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	1.5	3/1	3/2.5	1	3/4	2/3	24/ III
18	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2	3/2	3/2.5	1	3/4	2/3	25.5/ III
19	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	1.5	3/1	3/2.5	1	3/4	2/3	24/ III
20	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	2.5	3/3	3.5/0.5	1	3/3	3.5/4	27/ III
21	<i>P. padus</i> f. <i>colorata</i>	3	3/3	3/3	1.5	3.5/3	4.5/3.5	31/2 II
22	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	2.5	3/4	3.5/3.5	2	4/3	4/4	33.5/ II
23	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	2.5	1/3	3/3.5	1	3/2	4/3.5	26.5/ III
23a	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	2.5	3/3	3/2	1	3.5/	3/4	29/ III
24	<i>P. padus</i> ssp. <i>borealis</i>	1	1/1	2/2	0	2/2	2/2	15/ IV
25	<i>P. grayna</i>	2.5	1/2	3.5/2	1	3/2	3/3	23/ III

26	<i>P. grayna</i>	2.5	2/1	2.5/0	2.5	4/3	3.5/4	25/ III
27	<i>P. maackii</i>	3.5	3/3	3/4	2	4/4	3/5	34.5/ II
28	<i>P. maackii</i>	4	3/2	3/4	2	4/4	4/5	35/ II
29	<i>P. maackii</i>	3	3/3.5	3/4	2	4/4	4/5	35.5/ II
30	<i>P. maackii</i>	3.5	3/4	5/4.5	2	3.5/4	4.5/5	39/ II
31	<i>P. maackii</i>	3	2.5/2	3.5/3	1.5	4/3.5	3.5/5	31.5/ II
32	<i>P. maackii</i>	3	2.5/2.5	3/3	2	4/3.5	4/4.5	32/ II
33	<i>P. pensylvanica</i>	3	3/2	3/3	2	4/3.5	4/4.5	32/ II
34	<i>P. pensylvanica</i>	3.5	3/2	3.5/3.5	3	4.5/2.5	3/5	33.5/ II
35	<i>P. virginiana</i>	3.5	3/5	5/4.5	2	3.5/4	4.5/5	40/ II
36	<i>P. virginiana</i>	2	3/2	3/3	2.5	3.5/3.5	3.5/4.5	30.5/ III
37	<i>P. virginiana</i>	3.5	3/2	3.5/3.5	3	4.5/2.5	3/5	33.5/ II
38	<i>P. virginiana</i>	3	3/2	3.5/3	3	4.5/3.5	4/4	33.5/ II

Крона – архитектура кроны, баллы; ДЦ/О – длительность цветения / обилие цветения, баллы; В/Пл. – окраска и величина цветков / привлекательность и длительность удержания на побегах плодов, баллы; аромат – аромат растения, баллы; ОО/ПО – цветовая гамма осенней окраски листьев / продолжительность облиствения, баллы; П/Зим. – поврежденность растений / зимостойкость, баллы; Д – группа декоративности

В группу растений с очень высокой декоративностью отнесли три образца *P. padus* L. f. *colorata*, выращиваемые в г. Апатиты. Растения характеризуются хорошо выраженной формой кроны, имеют сформированные ствол и ветви, встречаются повреждения вредителями. Черемухи группы очень высокой декоративности имеют привлекательные соцветия розового цвета, цветение длится до 15 суток. Листья начинают распускаться в конце мая – начале июня, опадают в конце сентября – начале октября.

В группу растений с высокой декоративностью отнесли 15 образцов (9 – в г. Кировск, 6 – в г. Апатит). Образцы этой группы имеют хорошо сформированные ствол и побеги, в редких случаях есть незначительные повреждения кроны. Соцветия образуются в достаточном и незначительном количестве, у образца 9 в обильном количестве, цветение длится не более 15 суток. Плоды в удовлетворительном состоянии, имеются в редких случаях повреждения. Листья начинают распускаться в конце мая – середине июня, опадают в конце сентября – середине октября. Встречаются механические повреждения, усыхание ветвей, установлено наличие различных патологий на листовых пластинках. Образцы в группе не обмерзают, в отдельные годы возможно обмерзание до 50-100% годичного побега.

В группу образцов со средней декоративностью отнесли один образец в г. Кировск и семь – в г. Апатиты. Кроны интродуцированных черемух средней декоративности угнетенные и имеют деформации. Обмерзает 50-100% годичного побега. Соцветия образуются в незначительном

количестве. Плоды удовлетворительного вида, имеются повреждения. Листья начинают распускаться в начале июня, опадают в конце сентября – середине октября.

Декоративность образца 35 (*P. virginiana*) оценивается как низкая. Растения значительно угнетены, крона сильно деформирована. Этот образец цветет в редкие годы. Листья начинают распускаться в середине июня.

Оценка жизнеспособности и декоративности интродуцированных растений черемухи позволяет отметить следующее. Растения черемухи, выращиваемые в г. Кировск, относятся к жизнеспособным и высокодекоративным, исключением является образец 35 являющийся менее жизнеспособным и среднедекоративным. Жизнеспособность и декоративность образцов черемухи, выращиваемые на экспериментальном участке в г. Апатиты, оценивается более разнообразно. Растения определены в группы: вполне жизнеспособные с очень высокой, высокой или средней декоративностью, жизнеспособные высокодекоративные, менее жизнеспособные среднедекоративные, маложизнеспособные среднедекоративные, нежизнеспособные низкодекоративные.

В целом, интродуцированные растения черемухи можно классифицировать на следующие группы. Группа вполне жизнеспособных очень высокодекоративных, высоко- и среднедекоративных включает в себя 22 образца, 17 из них характеризуются высокими декоративными качествами. В группе отсутствуют растения старше 60 лет. В указанной группе растения *P. padus*, *P. padus* f. *colorata*, *P. maackii*, *P. pensylvanica* и *P. virginiana*. Средняя декоративность

P. padus f. *colorata*, вероятно, объясняется наличием повреждений, нанесенных галловым клещом. Группа жизнеспособных высоко- и среднедекоративных растений включает 14 образцов. В группу вошли растения старше 60 лет (образцы 5, 6, 12), 6 образцов младше 20 лет и 4 образца в возрасте 23-50 лет. Средняя декоративность определена у младшей возрастной группы, у *P. virginiana* и *P. padus* f. *colorata*, имеющей повреждения галловым клещом. Группа мало- и нежизнеспособных средне- и низкоддекоративных включает в себя 4 образца. Образец 24 *P. padus* ssp. *borealis* сильно поврежден галловым клещом, крона сильно изрежена.

Заключение

Таким образом, интродуцированные образцы черемухи в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте являются вполне жизнеспособными высокоддекоративными цветущими и плодоносящими растениями. Снижение декоративности происходит с увеличением возраста растений и с изреживанием кроны вследствие повреждения черемуховым галловым клещом. С целью успешной интродукции необходимо введение в эксперимент растений, имеющих северное и высокогорное происхождение исходного материала, подбор способов борьбы с вредителями, все это позволит шире внедрять в озеленение перспективных видов черемухи. Исследование является одним из этапов систематизированного описания адаптивного состояния растений рода при интродукции в условия Крайнего Севера.

Работы выполнены на УНУ «Коллекции живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394.

Список литературы

1. Ярмишко В.Т. Современные проблемы интродукции растений // сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 147. С. 89-91.
2. Ренгартен Г.А., Сорокопудов В.Н. Оценка сортообразов черемухи в зависимости от их генетического происхождения на северо-востоке России // Вестник КРАСГАУ. 2019. № 3 (144). С. 51-57.
3. Орлова С.Ю., Юшев А.А., Шеленга Т.В. Химический состав плодов черемухи в условиях северо-западного региона России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 2. С. 65-72.
4. Turbina I.N., Lukurichkin G.M. Assessment of the pigment complex of some woody introducers of the family Rosaceae Juss. in a culture condition // IOP conference series: earth and environmental science III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020:

Agribusiness. Environmental Engineering and Biotechnology (18-20 июня 2020 года. Volgograd, Krasnoyarsk). 2020. С. 42-57.

5. Umina Paul A., Reidy-Crofts Jenny, Babineau Marielle и др. Susceptibility of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae), to four insecticides // Austral entomology. 2020. Т. 59. Вып. 4. С. 838-844.
6. Yan Y., Li G., Li Z., Wei M. A new species of zaraea (leach, 1817) (Hymenoptera, cimbicidae) from China harming *Padus brachypoda* // Linze Kexue/Scientia Silvae Sinicae. 2020. Т. 56. № 5. С. 105-112.
7. Догадина М.А., Алексашкина О.В. Анализ состояния и фитонцидной активности декоративных культур в урбоэкосистемах (на примере г. Орёл) // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 41-47.
8. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений / Опыт интродукции древесных растений. М.: Наука. 1973. С. 7-67.
9. Залывская О.С., Бабич Н.А. Шкала комплексной оценки декоративности деревьев и кустарников в городских условиях на Севере // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1 (15). С. 96-104.

References

1. Yarmishko V. T. Modern problems of plant introduction // collected of scientific works of the State Nikitsky Botanical Garden. 2018. Vol. 147. P. 89-91.
2. Rengarten G. A., Sorokopudov V. N. Evaluation of bird cherry cultivars depending on their genetic origin in the North-East of Russia // Bulletin of KRASGAU. 2019. No. 3 (144). P. 51-57.
3. Orlova S. Yu., Yushev A. A., Shelenga T. V. Chemical composition of cherry fruits in the conditions of the North-Western region of Russia // Works on applied botany, genetics and breeding. 2020. Vol. 181. no. 2. P. 65-72.
4. Turbina I.N., Lukurichkin G.M. Assessment of the pigment complex of some woody introducers of the family Rosaceae Juss. in a culture condition // IOP conference series: earth and environmental science III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness. Environmental Engineering and Biotechnology (18-20 June 2020. Volgograd, Krasnoyarsk). 2020. P. 42-57.
5. Umina Paul A., Reidy-Crofts Jenny, Babineau Marielle и др. Susceptibility of the bird cherry-oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae), to four insecticides // Austral entomology. 2020. Vol. 59. i. 4. P. 838-844.
6. Yan Y., Li G., Li Z., Wei M. A new species of zaraea (leach, 1817) (Hymenoptera, cimbicidae) from China harming *Padus brachypoda* // Linze Kexue/Scientia Silvae Sinicae. 2020. Vol. 56. no. 5. С. 105-112.
7. Guadina M. A., Aleksashkina O. V. Analysis of the state and phytoncidal activity of ornamental crops in urban ecosystems (on the example of the city of Orel) // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2019. No. 1. P. 41-47.
8. Lapin P. I., Sidneva S. V. Assessment of the prospects for the introduction of woody plants based on visual observations / Introduction of woody plants experience. Moscow: Nauka. 1973. P. 7-67.
9. Zalyvskaya O. S., Babich N. A. Scale of comprehensive assessment of the decorative properties of trees and shrubs in urban conditions in the North // Bulletin of the Volga State Technological University / Ser.: Forest. Ecology. Environmental management. 2012. No. 1 (15). P. 96-104.

Информация об авторах

Липпонен Ирина Николаевна, аспирант
Гончарова Оксана Александровна, канд биол. наук, ст.н.с.
Федеральное бюджетное учреждение науки Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Колского научного центра Российской академии наук (Министерство высшего образования и науки Российской Федерации)
194209, Российская Федерация, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д. 18а
E-mail: lipponen-in@yandex.ru

Information about the authors

Lipponen Irina Nikolaevna, postgraduate student
Goncharova Oksana Aleksandrovna, Cand. Sci. Biol., Senior Researcher
Federal Budgetary Institution of Science Polar-Alpine Botanical Garden-Institute named after N.A. Avrorin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation)
194209, Russian Federation, Murmansk region, Apatity, Fersman st., 18a
E-mail: lipponen-in@yandex.ru

Н.А. Семенова

канд. с.-х. наук, ст.н.с.

Н.О. Чилингарян

канд. техн. наук, ст.н.с.

А.С. Иванских

мл.н.с.

А.А. Дорохов

мл.н.с.

Е.В. Павлова

лаборант-исследователь

Н.И. Уютова

лаборант

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженер-
ный центр ВИМ»

E-mail: natalia.86@inbox.ru

Влияние спектрального состава света и кремнийсодержащего удобрения силиплант на морфологические показатели базилика в условиях закрытых искусственных агроэкосистем

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния спектрального состава света и биологически активного вещества Силиплант на морфологические параметры двух сортов базилика «Лемона» и «Ред рубин». Исследования проводились в двух климатических камерах для выращивания растений. В одной из камер были установлены две натриевые трубчатые лампы и одна металлогалогенная лампа, во второй климатической камере были установлены лампы на основе светодиодных источников света с возможностью регулирования спектрального состава света. Установлено положительное действие биологически активного вещества Силиплант, примененного в качестве микродобавки к питательному раствору, на свежесобранную биомассу и накопление сухих веществ в растениях базилика овощного сорта «Ред рубин». Эффективность применения препарата особенно заметна на начальных этапах роста (до 30 дня культивирования).

Ключевые слова: гидропоника, базилик, спектральный состав света, силиплант, морфология, климатическая камера.

N.A. Semenova

Cand. of Agricultural Sciences, Senior
Researcher

N.O. Chilingaryan

Cand. of Techn. Sciences, Senior Researcher

A.S. Ivantskikh

Junior Researcher

A.A. Dorokhov

Junior Researcher

E.V. Pavlova

laboratory assistant-researcher

N.I. Uytova

laboratory assistant

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

E-mail: natalia.86@inbox.ru

Influence of the spectral composition of light and silicon-containing fertilizer siliplant on the morphological parameters of basil in closed artificial agroecosystems

The paper presents the results of conducted experimental researches of the light spectral composition influence and biologically active substance Siliplant on the morphological parameters of two varieties of sweet basil "Lemon" and "Red Ruby". The research was carried out in two climatic chambers for growing plants. In the first chamber two sodium tube lamps and one metal halide lamp were installed. In the second climatic chamber, lamps based on LED light sources were installed with the ability to control the spectral composition of light. The positive effect of the biologically active fertilizer Siliplant, used as a microadditive to the nutrient solution, on the freshly harvested biomass and the accumulation of dry matter in the sweet basil "Red Ruby" variety, has been established. The fertilizer effectiveness is especially noticeable at the initial stages of growth (up to 30 days of cultivation).

Keywords: hydroponics, basil, spectral composition of light, siliplant, morphology, climate chamber.

В настоящее время для промышленной светокультуры растений более широко используются светильники с высокоэффективными газоразрядными лампами высокого давления (металлогалогеновыми (МГЛ) и натриевыми (ДНАТ)) мощностью 200-400 Вт. Оптимальное соотношение спектральных участков ФАР в общем светопотоке, наряду с другими факторами, определяет максимальную фотосинтетическую продуктивность растений, повышая эффективность выращивания растений в светокультуре. Применение современных источников света - светодиодных облучателей, позволяет резко сократить энергозатраты на выращивание растений за счет высокой светоотдачи, длительного рабочего ресурса и возможности регулировать спектр облучения [1]. Опыт использования искусственной ФАР различного спектрального состава для выращивания растений показал неоднозначность влияния спектра, как на накопление общей биомассы, так и на формирование хозяйственно полезного урожая [2]. Растения на разных стадиях развития и в зависимости от культуры и даже сорта, требуют разных диапазонов длин волн.

Поскольку культурным растениям требуется много света для удовлетворения потребностей роста, затраты на электроэнергию очень высоки, что служит сдерживающим фактором для развития технологии. Активно ведутся разработки технологий выращивания овощной продукции под светодиодными источниками излучения с учетом специфики реакции различных видов и сортов. Такие технологии позволяют получать высококачественную продукцию овощных культур круглогодично, при этом появляется возможность регулирования качественного и количественного состава продукции. В этом исследовании мы изучали скорость роста растений базилика при двух системах освещения с применением удобрения Силиплант.

Цель исследований – изучение влияния различного спектрального состава света и использования в питательном растворе биологически активного вещества Силиплант на морфологические параметры краснолистного и зеленолистного сортов базилика овощного, выращиваемых малообъемным гидропонным методом в условиях закрытых искусственных агроэкосистем.

Материалы и методы

Объектами исследований явились процессы роста и развития растений базилика сортов «Лемона» и «Ред рубин», выращиваемых методом малообъемной гидропоники с использованием биологически активных веществ, при различных спектральных режимах освещения.

Понимание реакций растений на световые волны различной длины важно для оптимизации условий освещения при выращивании овощей в вертикальных фермах.

Ближайшей, а поэтому наиболее реальной перспективой повышения эффективности излучения ламп, используемых в светокультуре, является оптимизация спектрального состава их ФАР. Это связано, с одной стороны, с достаточно высоким уровнем светотехнических разработок, позволяющих варьировать спектр излучения ФАР

различных по мощности источников света в весьма широких пределах, а с другой – с накоплением фактического материала по физиологическому воздействию излучения различных участков ФАР на разнообразные стороны жизнедеятельности высших растений, включая продукционный процесс, исследованный на ценотическом уровне [2]. Регуляторная роль света связана с запуском механизмов, которые «открывают» или «закрывают» возможности протекания различных физиологических процессов, например, направленность биохимических синтезов (углеводная или белковая), открытие или закрытие устьиц, движение органов растений под действием света (фототропизм), начало зацветания растений и др.

Исследования проводили в камерах, разработанных и изготовленных в ФНАЦ ВИМ. В камерах поддерживались температурный и влажностный режим, а полив растений осуществляли капельным способом. Для приготовления питательных растворов использовался комплекс удобрений для гидропоники Flora Series (GHE, Франция) по рекомендованным пропорциям. Электропроводность питательного раствора поддерживали в пределах 1500-1600 мкСм/см. В контрольном варианте (климатическая камера № 1, рисунок 1а) установлено две натриевые трубчатые лампы (ДНАТ-600, цвет – желтый), одна металлогалогенная лампа (ДРИ-600/4К, цвет – белый). В климатической камере №2 были установлены лампы на основе светодиодных источников света (рисунок 1б). Спектральный состав света в климатических камерах представлен на рисунке 2 [3]. Фотосинтетическая плотность потока фотонов (PPFD) в обоих вариантах составлял 170 мкмоль/с·м².

Исследования по определению оптимального PPFD для выращивания базилика (*Ocimum basilicum* L.) показали, что самая высокая устьичная проводимость и эффективность использования энергии и света наблюдалась при $PPFD > 200$ мкмоль м⁻² с⁻¹ с фотопериодом 16 часов [4].

Более высокая доля синего света (В) в спектре увеличивает относительную концентрацию хлорофилла в пурпурном базилике, но подавляет удлинение стебля и разрастание листьев, уменьшая биомассу. Повышенная доля В-излучения увеличивает фитохимические концентрации, но снижает общее количество фитохимических веществ на растение. Включение длин волн зеленого света (G) снижает биомассу побегов по сравнению с растениями, выращенными при комбинациях света R и В, но стимулирует удлинение стебля у зеленого базилика при В ниже 12%: в то время как при В ниже 24% включение G подавляет удлинение стебля у пурпурного базилика [5].

Однако, последние исследования бельгийских ученых, оценивающие последствия добавления зеленого света (505 нм) к спектру белого света (350-700 нм) и частичной замены синего и красного света зеленым светом в спектре белого света для *Ocimum basilicum* L., показали, что частичная замена синего и красного света зеленым приводит к значительному увеличению производства биомассы, увеличивает количество листьев на горшок, количество листьев на стебель, длину стебля и площадь отдельных

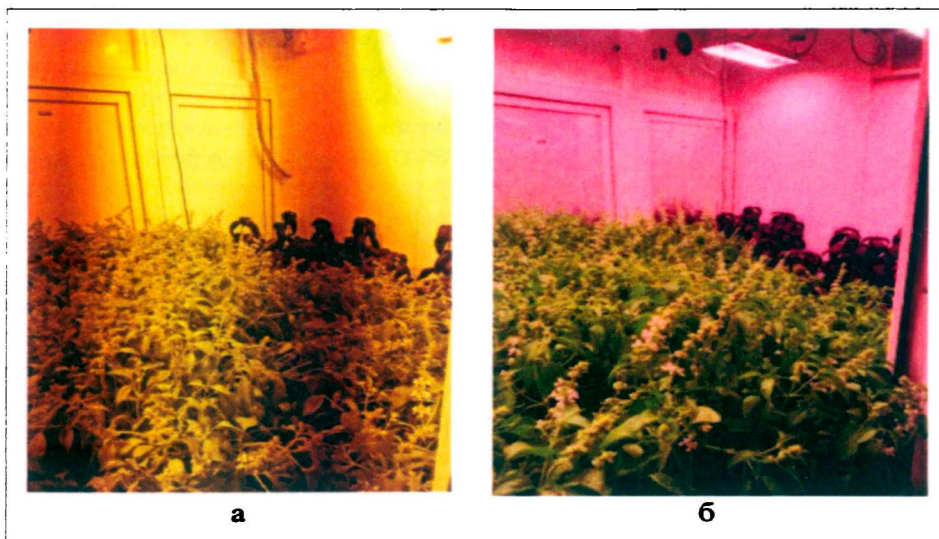
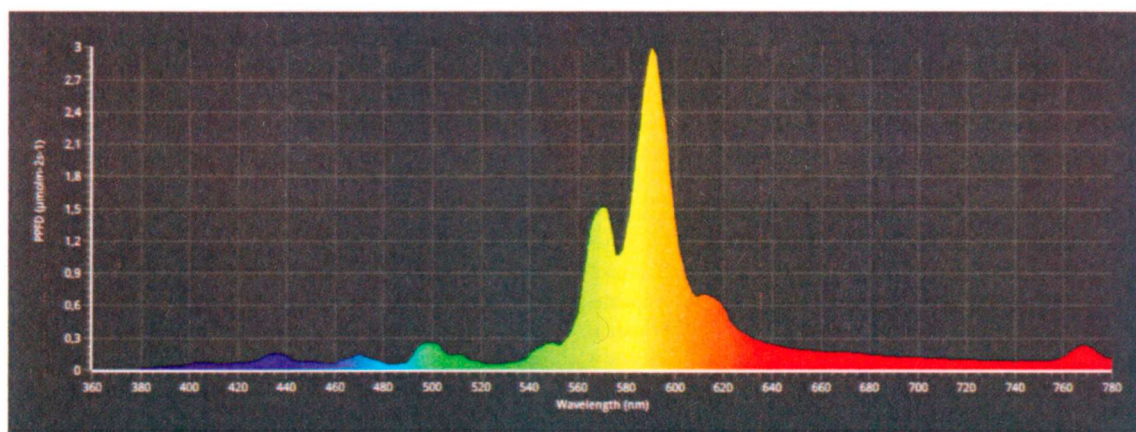
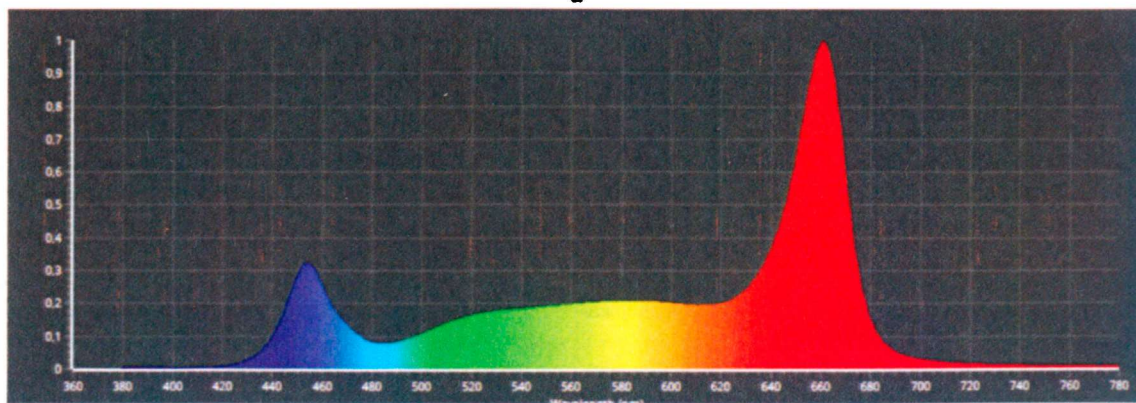


Рис. 1. Общий вид растений базилика в климатической камере с натриевым освещением (а) и со светодиодным освещением (б) на 60 день культивирования



а



б

Рис. 2. Спектральный состав света в климатической камере с натриевым освещением (а) и со светодиодным освещением (б)

листьев и не влияет на содержание хлорофилла в листьях и на соотношение длины листа к ширине листа [6].

На рост растений базилика душистого и содержание эфирного масла в листьях влияют интенсивность света, температура и уровень орошения [7, 8]. Известно, что качество света влияет на содержание вторичных метаболитов, таких как лекарственные компоненты [9] и растительные пигменты [10]. Однако до сих пор мало изучено влияние качества света на содержание ароматических соединений и рост растений базилика душистого.

В питательный раствор в качестве микроудобрения было добавлено удобрение стресс-протектор Силиплант в концентрации 0.15%, аналогично проведенным нами ранее экспериментам с культурой салата [11]. В этом удобрении содержится биологически активный кремний в виде миселл, катион и полный набор микроэлементов. Кремний оказывает на растения ярко выраженное росторегулирующее и антистрессовое действие, растения лучше переносят дефицит влаги, действие экстремальных температур, несбалансированность питательных элементов [12-15]. Активный кремний оказывает на растения многостороннее действие: стимулирует рост корневой системы [16, 17] и надземной части, повышает активность фотосинтеза [18, 19], регулирует работу устьиц [20].

Кроме того, применение Силипланта способствует повышению урожайности и качества выращенной продукции, увеличивая содержание сахаров, белка, углеводов, жиров, витаминов и других полезных компонентов [17, 21-23].

Для оценки влияния указанных факторов на биометрические показатели листьев растений базилика (масса свежесобраных растений, их высота, сырая масса, содержание сухих веществ) были отобраны единичные образцы растений двух сортов (по 5 шт. с каждого варианта опыта), выращенных в камерах с различным световым режимом, при различных составах питательного раствора (с добавлением в питательный раствор Силипланта и без добавления).

Определение биомассы свежесобраных растений проводилось путем взвешивания каждого единичного растения на лабораторных весах серии GF-3000 (A&D Company, Япония) с точностью до 0.001 г. Определение сухих веществ в биомассе растений проводилось по следующей методике. Из точечных проб, представляющих собой единичные растения, была сформирована объединенная проба, из которой после ее измельчения на частицы размером 1.0 – 1.5 см и тщательного перемешивания, методом квартования были выделены средние пробы в 4-х повторностях, которые и использовали для определения содержания сухих веществ.

Масса каждой средней пробы включала значения массы 3-х растений в пределах варианта опыта. Сушка подготовленных проб проводилась в два этапа: первый этап – сушка в условиях окружающей среды (20-22°C) до воздушно-сухого состояния. Второй этап – сушка этих же проб до постоянной массы при температуре, не превышающей

105°C. После охлаждения и взвешивания высушенных проб, производился расчет содержания сухих веществ.

Количественное определение эфирного масла экстракта проводили на газовом хроматографе Shimadzu GC-2014 AFSC, оборудованном пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой Supelcowax 10. Для приготовления экстракта отбирали навеску листьев массой 30-40 г, выделяли пробу массой 1.0 г, взвешивание которой проводили на аналитических весах LA-230 Sartorius с точностью 0.0001 г. Навеску тщательно растирали в ступке до однородного состояния, затем содержимое переносили в колбу емкостью 100 мл, в качестве экстрагирующего вещества добавляли 3 мл гексана. Колбу с экстрактом помещали на 15 минут в ультразвуковую мешалку Elmasonic S60H, после чего раствор фильтровали через шприц с шприцевым фильтром.

Для контроля действия стресс-протектора Силиплант на разных этапах роста сортов базилика учеты показателей продуктивности производились в 2 срока – на 30 и 60 день культивирования.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе роста (до 30 дней) растения базилика, выращиваемые при светодиодном излучении (камера №2) выглядели более привлекательно, накапливали большее количество сырой массы за счет более активного роста листовой поверхности, при этом потеря в сухой массе не наблюдалась, а значит они сохранили свою питательную ценность (таблица 1). Добавление в питательный раствор микроудобрения Силиплант способствовало более активному росту базилика сорта 'Ред рубин', а на сорт 'Лемона' оказало угнетающее воздействие.

Применение Силипланта отрицательно повлияло на накопление сырой массы базилика сорта 'Лемона' при разных вариантах освещения, а у сорта 'Ред рубин' увеличило накопление сырой массы в обоих вариантах. При этом лучшие варианты по накоплению сырой массы обоих сортов наблюдались при светодиодном освещении.

Тип освещения не оказал существенного влияния на накопление сухой массы растений базилика обоих сортов. Применение Силипланта отрицательно сказалось на накоплении сухой массы растений базилика сорта 'Лемона' и положительно повлияло на сорт 'Ред рубин'.

Площадь листовой поверхности при освещении светодиодными излучателями больше для обоих сортов базилика. Сорт 'Лемона' отличается большим накоплением биомассы и соответственно имеет большую площадь листовой поверхности, чем сорт 'Ред рубин'. Применение Силипланта вызвало уменьшение фотосинтетической поверхности базилика сорта 'Лемона' и положительно повлияло на рост листьев базилика 'Ред рубин'.

На 60 день культивирования, когда растения базилика перешли в фазу активного цветения и накопления эфирных масел, производили последний отбор проб.

Факторы Тип освещения и Сорт оказали достоверное влияние на сырую массу растений базилика и их высоту

Таблица 1. Средние значения биометрических показателей надземной части растений базилика овощного (*Ocimum basilicum* L.) сортов 'Лемона' и 'Ред рубин' на 30 сутки культивирования, n=32

Сорт	Источники	Вариант опыта	Масса, г		Длина стебля, см	Содержание влаги, %	Площадь листьев, см ²
			сырая	сухая			
1	2	3	4	5	6	7	8
Лемона	Натриевые	Без БАВ	3.0	0.374	15.8	88.2	152.3
		Силиплант	2.8	0.287	17.9	89.8	142.7
	Светодиодные	Без БАВ	4.5	0.436	15.4	91.1	240.6
		Силиплант	2.9	0.258	18.1	91.6	154.2
Ред рубин	Натриевые	Без БАВ	0.7	0.055	5.3	92.8	35.2
		Силиплант	1.3	0.098	7.1	88.8	59.0
	Светодиодные	Без БАВ	0.7	0.058	3.9	91.9	29.5
		Силиплант	2.4	0.183	8.8	79.2	96.9

Таблица 2. Средние значения биометрических показателей надземной части растений базилика овощного сортов 'Лемона' и 'Ред рубин' на 60 сутки после появления массовых всходов, n=32

Сорт	Источники	Вариант опыта	Масса, г		Длина стебля, см	Содержание влаги, %	Площадь листьев, см ²	Общее содержание эфирных масел, %
			сырая	сухая				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лемона	Натриевые	Без БАВ	24.2	3.6	49.3	85.0	277.9	0.15
		Силиплант	24.8	3.7	51.8	85.1	317.8	0.13
	Светодиодные	Без БАВ	31.5	3.6	54.3	88.7	174.3	0.13
		Силиплант	28.6	4.1	54.5	85.6	203.8	0.15
Ред рубин	Натриевые	Без БАВ	12.6	0.9	34.0	93.2	188.1	0.20
		Силиплант	11.0	0.9	35.8	91.5	160.4	0.20
	Светодиодные	Без БАВ	21.7	2.2	36.5	90.0	147.7	0.20
		Силиплант	28.4	2.6	40.8	90.8	230.5	0.20

(таблица 2). Однако показатели сухой массы и площади листовой поверхности имели только сортовые отличия.

Преимущество использования светодиодных облучателей выбранного спектра очевидно по накоплению сухой массы растений. Растения имели более привлекательный вид. Однако накопление эфирных масел в полученной продукции в несколько раз ниже, чем в растениях базилика, выращиваемых при естественном солнечном освещении - 0.6-1.8% [24, 25]. Полученные растения базилика обладали соответствующим сортам ароматом, однако на вкус были невысокого качества из-за низкого содержания эфирных масел.

Таким образом, лучшими вариантами по морфологическим параметрам при выращивании базилика душистого являются варианты с использованием светодиодного излучения заданного спектра для сорта 'Лемона' – без добавления БАВ, для сорта 'Ред рубин' – с добавлением в раствор Силипланта.

Выводы

Установлено положительное действие биологически активного вещества Силиплант (0.15%), примененного в качестве микродобавки к питательному раствору, на свежубранную биомассу и накопление сухих веществ в растениях базилика овощного сорта 'Ред рубин'. Эффективность применения препарата особенно заметна на начальных этапах роста (до 30 дня культивирования).

Выявлено, что общая продуктивность сортов базилика 'Лемона' и 'Ред рубин' независимо от сорта, состава питательного раствора, но произрастающих в камере № 1 при освещении светодиодными лампами (R62B12G26) выше продуктивности растений, произрастающих в камере № 1 с натриевыми лампами на 51.6%, однако содержание эфирного масла в полученных растениях в несколько раз ниже, чем при выращивании при естественном освещении. Планируются дополнительные исследования влияния спектров светодиодного облучения с добавлением ультрафиолетового освещения на накопление эфирных масел.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за финансирование данной работы (075-15-2020-774).

Список литературы

1. Нурминский В.Н., Захаров Ю.Б. Влияние спектрального состава и интенсивности / Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды // Сборник материалов Годиного собрания Общества физиологов растений России. Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. В 2-х частях. 2018 Издательство:

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук (Иркутск) DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-1327-1329.

2. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: изд-во СО РАН. – 2000 – 213 с.

3. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А., Семенова Н.А. Замкнутые цифровые искусственные агроэкосистемы в овощеводстве. - Москва. - 2020. с.64-67.

4. Pennisi G., Pistillo A., Orsini F., Cellini A., Spinelli F., Nicola S., Fernandez J.A., Crepaldi A., Gianquinto G., Marcelis L.F.M. Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs // *Scientia horticulturae*. – 2020. Vol. 272. № 109508. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109508

5. 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*. - 2020. Vol. 145 (4). PP 267-278. DOI: 10.21273/JASHS04927-20.

6. Schenkels L., Saeys W., Lauwers A., De Proft M.P. Green light induces shade avoidance to alter plant morphology and increases biomass production in *Ocimum basilicum* L. // *Scientia horticulturae*. – 2020. Vol. 261. № 109002. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.109002.

7. Ichimura M., Tomitaka Y. and Kimura M. Effects of light intensity on the growth and essential oil contents in sweet basil. *Abstr. Japan. Soc. Hort. Sci. Autumn Meet.* – Japan. 1987.- P.410-411.

8. Ichimura M., Kimura M. and Tomitaka Y. Effects of temperatures and photoperiods on the growth and essential oil contents in sweet basil. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* - 1991 - Vol. 60 (Suppl. 1) - P.338-339.

9. Nishimura T., Zobayed S.M.A., Kozai T., Goto. E., Medicinally important secondary metabolites and growth of *Hypericum perforatum* L. plants as affected by light quality and intensity. *Environ. Control Biol.* 2007 - Vol. 45. –P.113-120.

10. Ebisawa M., Shoji K., Kato M., Shimomura K., Goto F., Yoshihara T. Effects of supplementary lighting of UV-B, UV-A and blue light during the night on growth and coloring in red-leaf lettuce // *J. SHITA*. – 2008 - Vol. 20 –P.158-164.

11. Semenova N.A., Smirnov A.A., Grishin A.A., Pishchalnikov R.Y., Chesalin D.D., Gudkov S.V., Chilingaryan N.O., Skorokhodova A.N., Dorokhov A.S., Izmailov A.Y. The Effect of Plant Growth Compensation by Adding Silicon-Containing Fertilizer under Light Stress Conditions. *Plants* 2021. 10. 1287. <https://doi.org/10.3390/plants10071287>.

12. Воронин Д.В. Применение Лограна и его смесей Силиплантом на посевах ячменя / Д.В. Воронин, Л.А. Дорожкина // Мат. междунар. научной конф. молодых ученых и специалистов: Применение средств химизации в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. - 2009. - С. 40-45.

13. Дорожкина Л.А. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур на фоне снижения пестицидной нагрузки // VI семинар-совещание «Анапа-2010». - С.41-45.

14. Дорожкина Л.А. Циркон. Эпин-Экстра и Силиплант в инновационных технологиях возделывания зерновых культур / Л.А. Дорожкина, П.Е. Пузырьков, Н.И. Добрева // Зерновое хозяйство России. - 2011. - №4 (16). - С. 40-45.
15. Пат. 2176451 Российская Федерация. МПК А 01 N 59/00. Состав для обработки сельскохозяйственных культур / Л.А. Дорожкина, А.А. Соболев. - № 99113705/04: Заявлено 23.06.1999: Опубл. 10.12.2001. - 2 с.
16. Слостя И.В. Влияние кремния на рост растений и баланс эндогенных фитогормонов ярового ячменя / И.В. Слостя, В.Н. Ложинова // Агрохимия. - 2010. - № 3. - С. 34-39.
17. Янишевская О.Л. Эффективность кремнийсодержащего удобрения Силиплант при выращивании разных видов лука / О.Л. Янишевская, С.Н. Швыркин // Гавриш. - 2010. - №3. - С. 23-26.
18. Кшникаткина А.Н. Урожайность и качество голозерного ячменя при корневой подкормке Альбитом и Силиплантом в условиях лесостепи среднего Поволжья / А.Н. Кшникаткина, П.Г. Алепин, М.И. Юров // Нива Поволжья. - 2013. - №3 (28). - С.38-41.
19. Янишевская О.Л. Применение кремнийсодержащих удобрений и регуляторов роста «Эпин-экстра» и «Циркон» при выращивании овощных культур в защищенном грунте / О.Л. Янишевская, Л.А. Дорожкина // Теплицы России. - 2007. - №4. - С. 38-41.
20. Воронков М.Г. Кремний и жизнь / М.Г. Воронков, Г.И. Зелчан, Э.Я. Лукевич // Биохимия, токсикология и фармакология соединений кремния. - 2-е изд. перераб. и доп. - Рига: Зинатне, 1978. - 588 с.
21. Ермолаев В.А. Действие Раундапа и его смесей с Силиплантом на урожайность и качество винограда (Саперави северный) / В.А. Ермолаев / Мат. междунар. науч. конф.: Агрохимические приемы рационального применения средств химизации как основа повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур. 25-26 апреля 2007 г. - 2007. - С. 259-262.
22. Селезнев А.М. Антистрессовое действие регулятора роста Циркон и микроудобрения Силиплант в свекловичных посевах / А.М. Селезнев, А.П. Шиндин, Л.А. Дорожкина, Т.Г. Борисова // Сахарная свекла. - 2011. - №5. - С. 34-36.
23. Янишевская О.Л. Применение Силипланта и циркона с целью повышения продуктивности и качества овощной фасоли / О.Л. Янишевская, Л.А. Дорожкина, И.П. Малахова / Гавриш. - 2007. - №2. - С.15-17.
24. Хамидреза Б., Белопухов С.Л. Влияние биоудобрений на рост и развитие базилика (*Ocimum basilicum* L.), содержание малонового диальдегида и эфирного масла / Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 156-163.
25. Кравчук К.И., Нестерова Н.В., Ермакова В.Ю., Бирюкова Н.В. Анализ морфолого-анатомических признаков и оценка содержания эфирного масла в листьях базилика камфорного (*Ocimum basilicum* L.) / Медицинское образование и ВУЗовская наука. 2018. № 3-4 (13-14). С. 133-137.

References

1. Nurminsky V.N., Zakharov Yu.B. Influence of spectral composition and intensity / Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental conditions // Collection of materials of the Annual Meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia, the All-Russian Scientific Conference with international participation and the school of young scientists. In 2 parts. 2018 Publisher: Institute of Geography, V.B. Sochavy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk) DOI: 10.31255 / 978-5-94797-319-8-1327-1329.
2. Tikhomirov A.A., Sharupich V.P., Lisovskiy G.M. Plant photoculture: biophysical and biotechnological foundations. Novosibirsk: publishing house of the SB RAS. - 2000 - 213 p.
3. Izmailov A.Yu., Dorokhov A.S., Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A., Semenova N.A. Closed digital artificial agroecosystems in vegetable growing. - Moscow. - 2020.p.64-67.
4. Pennisi G., Pistillo A., Orsini F., Cellini A., Spinelli F., Nicola S., Fernandez J.A., Crepaldi A., Gianquinto G., Marcelis L.F.M. Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs // Scientia horticulturae. - 2020. Vol. 272. No. 109508. DOI: 10.1016 / j.scienta.2020.109508
5. 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. - 2020. Vol. 145 (4). PP 267-278. DOI: 10.21273 / JASHS04927-20.
6. Schenkels L., Saeys W., Lauwers A., De Proft M.P. Green light induces shade avoidance to alter plant morphology and increases biomass production in *Ocimum basilicum* L. // Scientia horticulturae. - 2020. Vol. 261. No. 109002. DOI: 10.1016 / j.scienta.2019.109002.
7. Ichimura M., Tomitaka Y. and Kimura M. Effects of light intensity on the growth and essential oil contents in sweet basil. Abstr. Japan. Soc. Hort. Sci. Autumn Meet. - Japan 1987. - P.410-411.
8. Ichimura M., Kimura M. and Tomitaka Y. Effects of temperatures and photoperiods on the growth and essential oil contents in sweet basil. J. Japan. Soc. Hort. Sci. - 1991 - Vol. 60 (Suppl. 1) - P.338-339.
9. Nishimura T., Zobayed S. M. A., Kozai T., Goto. E. Medicinally important secondary metabolites and growth of *Hypericum perforatum* L. plants as affected by light quality and intensity. Environ. Control Biol. 2007 - Vol. 45. -R.113-120.
10. Ebisawa M., Shoji K., Kato M., Shimomura K., Goto F., Yoshihara T. Effects of supplementary lighting of UV-B, UV-A and blue light during the night on growth and coloring in red- leaf lettuce // J. SHITA. - 2008 - Vol. 20 -P.158-164.
11. Semenova N.A., Smirnov A.A., Grishin A.A., Pishchalnikov R.Y., Chesalin D.D., Gudkov S.V., Chilingaryan N.O., Skorokhodova A.N., Dorokhov A.S., Izmailov A.Y.

The Effect of Plant Growth Compensation by Adding Silicon-Containing Fertilizer under Light Stress Conditions. *Plants* 2021, 10, 1287. <https://doi.org/10.3390/plants10071287>.

12. Voronin, D.V. Application of Logran and its mixtures by Siliplant on crops of barley / D.V. Voronin, L.A. Dorozhkina // *Mat. international scientific conf. young scientists and specialists: Application of means of chemicalization in technologies of adaptive landscape agriculture*. - 2009. - S. 40-45.

13. Dorozhkina L.A. Increasing the productivity of agricultural crops against the background of reducing the pesticide load / L.A. Dorozhkina // VI seminar-meeting «Anapa-2010». - S.41-45.

14. Dorozhkina L.A. Zircon, Epin-Extra and Siliplant in innovative technologies for the cultivation of grain crops / L.A. Dorozhkina, P.E. Puzyrkov, N.I. Dobrova // *Grain economy of Russia*. - 2011. - No. 4 (16). - S. 40-45.

15. Pat. 2176451 Russian Federation, IPC A 01 N 59/00. Composition for processing agricultural crops / L.A. Dorozhkina, A.A. Sobolev. - No. 99113705/04; Stated 06/23/1999; Publ. 10.12.2001. - 2 p.

16. Sweet I.V. The influence of silicon on plant growth and the balance of endogenous phytohormones of spring barley / I.V. Slasty, V.N. Lozhnikova // *Agrochemistry*. - 2010. - No. 3. - S. 34-39.

17. Yanishevskaya O.L. The effectiveness of siliceous fertilizer Siliplant in growing different types of onions / O.L. Yanishevskaya, S.N. Shvyrkin // *Gavrish*. - 2010. - No. 3. - S. 23-26.

18. Kshnikatkina A.N. Yield and quality of naked barley with root feeding with Albit and Siliplant in the forest-steppe conditions of the middle Volga region / A.N. Kshnikatkina, P.G. Alepin, M.I. Yurov // *Niva of the Volga region*. - 2013. - No. 3 (28). - S. 38-41.

19. Yanishevskaya O.L. Application of silicon-containing fertilizers and growth regulators «Epin-extra» and «Zircon» in the cultivation of vegetable crops in greenhouses / O.L. Yanishevskaya, L.A. Dorozhkina // *Greenhouses of Russia*. - 2007. - No. 4. - S. 38-41.

20. Voronkov M.G. Silicon and life / M.G. Voronkov, G.I. Zelchan, E. Ya. Lukevitz // *Biochemistry, toxicology and pharmacology of silicon compounds*. - 2nd ed. revised and add. - Riga: Zinatne. 1978. -- 588 p.

21. Ermolaev V.A. The effect of Roundup and its mixtures with Siliplant on the yield and quality of grapes (Saperavi northern) / V.A. Ermolaev // *Mat. international scientific. Conf. : Agrochemical methods for the rational use of chemicals as the basis for increasing soil fertility and productivity of agricultural crops*. April 25-26. 2007 - 2007. - pp. 259-262.

22. Seleznev A.M. Antistress effect of the Zircon growth regulator and Siliplant microfertilizers in beet crops / A.M. Seleznev, A.P. Shindin, L.A. Dorozhkina, T.G. Borisova // *Sugar beet*. - 2011. - No. 5. - S. 34-36.

23. Yanishevskaya O.L. Application of Siliplant and Zircon to Increase the Productivity and Quality of Vegetable Beans / O.L. Yanishevskaya, L.A. Dorozhkina, I.P. Malakhova // *Gavrish*. - 2007. - No. 2. - P.15-17.

24. Hamidreza B., Belopukhov S.L. Influence of biofertilizers on the growth and development of basil (*Ocimum basilicum* L.), the content of malondialdehyde and essential oil / *Izvestiya Timiryazevskaya Agricultural Academy*. 2020. No. 2. S. 156-163.

25. Kravchuk K.I., Nesterova N.V., Ermakova V.Yu., Biryukova N.V. Analysis of morphological and anatomical features and assessment of the content of essential oil in the leaves of camphor basil (*Ocimum basilicum* L.) / *Medical education and university science*. 2018. No. 3-4 (13-14). S. 133-137.

Информация об авторах

Семенова Наталья Александровна, канд. с.-х. наук, ст.н.с.

E-mail: natalia.86@inbox.ru

Чилингарян Нарек Овикович, канд. техн. наук, ст.н.с.

E-mail: narek-s@list.ru

Иваницких Алина Сергеевна, мл.н.с.

E-mail: alinena@yandex.ru

Дорохов Артём Александрович, мл.н.с.

E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

Павлова Елена Валерьевна, лаборант-исследователь

E-mail: elena_pavlova85@mail.ru

Уютова Надежда Игоревна, лаборант

E-mail: nadya.uuyutova@mail.ru

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

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

Information about the authors

Semenova Natalya Aleksandrovna, Cand. of Agricultural Sciences, Senior Researcher

E-mail: natalia.86@inbox.ru

Chilingaryan Narek Ovikovich, Cand. of Techn. Sciences, Senior Researcher

E-mail: narek-s@list.ru

Ivanitskikh Alina Sergeevna, Junior Researcher

E-mail: alinena@yandex.ru

Dorokhov Artem Alexandrovich, Junior Researcher

E-mail: dorokhov-91@yandex.ru

Pavlova Elena Valerievna, laboratory assistant-researcher

E-mail: elena_pavlova85@mail.ru

Uyutova Nadezhda Igorevna, laboratory assistant

E-mail: nadya.uuyutova@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

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

А.А. Смирнов

канд. техн. наук, ст.н.с.

Ю.А. Прошкин

канд. техн. наук, ст.н.с.

С.А. Качан

мл.н.с.

Е.В. Павлова

лаборант-исследователь

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженер-
ный центр ВИМ»

E-mail: alexander8484@inbox.ru

Обзор цифровых неинвазивных технологий мониторинга лесов

Представлен обзор современных цифровых неинвазивных технологий мониторинга лесов, проведена оценка и анализ систем и методов фенотипирования, сбора и подсчета параметров деревьев, фильтрации шумов при получении исходных данных. Рассмотрены перспективы внедрения технологий точного лесного хозяйства и систем компьютерного зрения. Сделаны выводы о том, что системы дистанционного мониторинга и компьютерного зрения позволяют существенно упростить и улучшить качество работ по наблюдению и отслеживанию таких параметров лесных массивов, как скорость роста и восстановления лесов, выявления вырубок и мест массовой гибели деревьев, проводить автоматический подсчет количества площадок, подготовленных для высадки деревьев. При решении задач фенотипирования, применение технологий компьютерного зрения существенно снижает трудозатраты на проведения исследований, позволяя формировать цифровые базы данных с четкой структурой и классификацией по морфологическим признакам. Внедрение нейронных сетей в процесс обработки цифровых изображений позволяет повысить точность распознавание в среднем на 10-15 %.

Ключевые слова: мониторинг лесов, фенотипирование, компьютерное зрение, дистанционного зондирование.

A.A. Smirnov

Cand. of Techn. Sciences, Senior Research

Yu.A. Proshkin

Cand. of Techn. Sciences, Senior Research

S.A. Kachan

Junior researcher

E.V. Pavlova

laboratory assistant-researcher

FSBIU «Federal Scientific Agroengineering
Center VIM»

E-mail: alexander8484@inbox.ru

Overview of Digital Non-Invasive Forest Monitoring Technologies

A review of modern digital non-invasive technologies for forest monitoring is presented, an assessment and analysis of systems and methods of phenotyping, collection and calculation of tree parameters, and noise filtering when obtaining the initial data are made. The prospects of introducing precision forestry technologies and computer vision systems are considered. It is concluded that remote monitoring systems and computer vision can significantly simplify and improve the quality of work on monitoring and tracking such parameters of forests as: growth and restoration of forests, detection of clearcuts and places of mass death of trees, to automatically calculate the number of sites, prepared for planting trees. When solving the problems of phenotyping, the use of computer vision technologies significantly reduces the labor costs for research, allowing the formation of digital databases with a clear structure and classification according to morphological characteristics. The implementation of neural networks in the process of digital image processing allows to increase recognition accuracy by an average of 10-15%.

Keywords: forest monitoring, phenotyping, computer vision, remote sensing.

DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2021.1098

Для решения ряда экологических и хозяйственных задач лесного хозяйства (отслеживание скорости роста и восстановления лесов, выявление вырубок и мест массовой гибели деревьев, подсчет количества площадок подготовленных под посадку саженцев, проведение процедур

фенотипирования и т.п.) необходимо постоянно отслеживать, накапливать и анализировать множество параметров, что занимает много сил и времени. Современные цифровые технологии могут существенно упростить и облегчить сбор необходимых данных, позволяют создать

автоматизированные и автоматические системы мониторинга. Проведенный литературный анализ свидетельствует о большом количестве работ посвященной данной тематике и высокой заинтересованности со стороны лесничеств, питомников деревьев, заповедников и научных институтов.

Цель работы – оценка и анализ применяемых современных цифровых неинвазивных методов мониторинга состояния лесов, обзор методов и систем подсчета количества деревьев, перспектив внедрения технологий точного лесного хозяйства и систем компьютерного зрения.

Материалы и методы исследования

В данном исследовании были рассмотрены работы по применению систем компьютерного зрения, позволяющие определить количество и состав лесных насаждений, оценить состояние участков, выделенных под высаживание саженцев, выявить очаги инфекции, отследить динамику роста деревьев и провести их фенотипирование.

Исследуемые материалы классифицировались и анализировались по критериям: области применения, методы сбора и эффективности обработки полученной информации, возможности внедрения. В ходе проведения исследований были применены методы системного подхода к проблеме исследования.

Результаты и обсуждения

Известно, что применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) может существенно облегчить работы по наблюдению за территорией лесных хозяйств. Использование БПЛА и других методов дистанционного зондирования (спутниковые снимки, аэросъемка) в задачах по сбору данных о состоянии насаждений вносят существенные изменения в практику ведения хозяйства, облегчают сбор информации о состоянии деревьев и почв, снижают время полевых работ и связанные с ними риски.

Например, в работе [1] авторского коллектива рассматривается система компьютерного зрения для автоматического подсчета количества площадок, подготовленных для высадки деревьев с использованием изображений БПЛА. В исследовании представлена концепция и методы по осуществлению автоматизированного анализа цифровых мультиспектральных изображений, полученных с помощью БПЛА. Обучение предложенной системы осуществлялось с помощью локальных двоичных шаблонов. При выполнении анализа снимка, вначале выбираются объекты, отвечающие параметрам шаблонов, затем производится окончательная классификация сверточной нейронной сетью (англ. convolutional neural network, CNN).

Стоит отметить, что различают несколько способов автоматического подсчета объектов, традиционный и методы глубокого обучения. Традиционные методы основаны на применении визуальных функций низкого уровня, где обучение моделей происходит в автономном режиме на аннотированных данных. Распознавание объекта

происходит путем извлечения и классификации визуальных элементов для областей-кандидатов (цвет, форма, размер). Одним из ограничений часто является сложность обработки окклюзий, вызванная перекрывающимися объектами. Методы глубокого обучения основаны на функциях, полученных от сверточных нейронных сетей. Существенным минусом может стать необходимость подготовки большого количества шаблонов, необходимых для проведения автономного обучения.

В представленной работе [1] система испытывалась на четырех участках, в результате чего было установлено, что средняя точность (precision) (процент верных обнаружений среди всех обнаруженных объектов) составила 75% (минимальное значение 73%, максимальное 77%), средний отзыв объектов (recall) (процент найденных объектов, от общего числа объектов) составила 81% (минимальное значение 75%, максимальное 90%), средняя оценка F1 (гармоническое среднее значение между precision и recall) составила 77% (минимальное значение 73%, максимальное 81%), средняя относительная ошибка подсчета составила 13.8%. Автор утверждает, что применяемый подход повышает производительность по сравнению с фактическим методом применяемых в хозяйствах, предлагает значительные преимущества с точки зрения гибкости развертывания и скорости сбора и обработки данных.

В работе [2] Богданов А.П. вместе с соавторами рассматривает возможность применения дистанционных методов зондирования поверхности для мониторинга состояния лесных массивов. Главной целью исследования ставится определение скорости восстановления лесов, выявление вырубок и участков пострадавших от пожаров при помощи анализа цифровых спутниковых снимков из серии космических аппаратов Landsat. Авторами представлены результаты по обработке спутниковых снимков скриптом для получения динамики изменения вегетационных индексов SWVI, NBR и NDVI. В результате проведенной работы для участка Обозерского лесничества Архангельской области пострадавшим от лесных пожаров в 2011 г. площадью 700 га были получены графики и диаграммы по динамике изменения значений вегетационных индексов растительности SWVI, NBR и NDVI с 2007 по 2016 годы.

А.В. Кашницкий вместе с соавторами [3] рассматривает метод обработки массива спутниковых данных для обнаружения лесных вырубок, описываются проблемы их автоматизированного выявления. В основе исследуемого метода лежит сопоставление двух снимков последовательных годов и сравнение получаемых по ним оценок проективного покрытия в пикселе. По результатам проведенного анализа представлены рекомендации по организации работы в распределенной обработке в задаче детектирования изменений в лесу. Разработан универсальный интерактивный инструмент, с помощью которого можно проводить детектирование лесного покрова для длительного интервала времени.

Однако обнаружение потерь леса с использованием суперпикселей превосходит подходы с использованием

однопиксельных ячеек квадратной сетки, особенно когда суперпиксели генерируются из вспомогательных оптических изображений. Этот метод используется для повышения точности обнаружения изменений леса [4].

По данной тематике встречается большое количество работ [5,6,7], мониторинг лесов при помощи спутниковых снимков осуществляется за счет спектрального анализа и получения вегетационных индексов (NDVI, SAVI, ARVI, EVI, LAI, NDWI, GNDVI), а также отслеживания изменения их динамики. Данная информация позволяет отслеживать скорость роста лесных массивов, выявлять вырубки и мест массовой гибели деревьев. При этом может использоваться метод временных рядов на основе MODIS NDV [8]. Важным вопросом остается устранение шума при применении метода временных рядов на основе спутниковых данных, что требует внимание к спутниковой калибровке, орбитальной коррекции, обнаружению и удалению атмосферных загрязнений и регистрации изображений.

Большой интерес вызывают работы по автоматизированному фенотипированию деревьев с помощью цифровых снимков. Известно, что при ручной идентификации используют множество характеристик растения (форма, цвет, структура листа), которые последовательно проверяются для определения его вида. Применяются оптические методы спектрального анализа, отраженного от листьев оптического излучения с помощью переносных спектрометров или гиперспектральных камер с дальнейшим расчетом вегетационных индексов [9]. Данный процесс довольно сложен, он требует больших знаний ботаники и может вызывать некоторые проблемы у фермеров, лесников и ландшафтных архитекторов [7,10]. Вследствие чего возникает необходимость в разработке методов цифровой обработки изображений и распознавания образов [11]. Процесс классификации растения на изображении можно разделить на следующие этапы: получение изображения, предварительная обработка, извлечение и описание признаков, классификация.

Для каждого этапа можно выделить основную цель:

- 1) Получение изображения – получения цельного изображения растения (дерева) или его органа с отличительными чертами.
- 2) Предварительная обработка – обработка изображения для исключения шумов и искажений и улучшение параметров снимка, которые облегчат последующую его обработку, проведение сегментации данных [12-16].
- 3) Извлечение и описание признаков – распознавание, извлечение и измерение отдельных признаков растений, отражающие особенности отдельных видов [17].
- 4) Классификация – на данном этапе все извлеченные признаки объединяются в вектор объектов, который позволяют классифицировать растение.

Одну из первых систем распознавания растений с применением нейронных сетей и баз данных представил научный коллектив под руководством Ву (S. G. Wu) [18]. Результатом данной научной работы стало создание цифрового набора внешних морфологических признаков для 32 видов растений «Flavia», который содержал 1907 изображений

листьев. Система распознавания учитывала не только геометрическую форму, но и строения структуры листа. Обработка изображений осуществлялась с помощью вероятностной нейронной сети PNN (probabilistic neural network), средняя точность распознавания составила 90%.

Сурлин К. (Surleen Kaur) с соавтором [19] представил научную работу, в которой подчеркнул важность предварительной обработки цифровых изображений для систем идентификации растений с помощью цифрового зрения. Для повышения точности распознавания растений производились преобразования изображений, линейная фильтрация (фильтр Гаусса), сегментация снимков и классификация полученных данных, что позволило убрать большинство избыточной информации, шумов и повысить скорость работы системы в целом. Было замечено, что анализ текстуры и цвета позволяет получить дополнительные критерии, которые существенно повышают точность распознавания объекта [20]. Средняя точность распознавания составила 93%.

Результаты лабораторных исследований, в которых генерируют системы распознавания растений с помощью компьютерного зрения, в первую очередь необходимы для формирования общедоступного цифрового набора внешних морфологических признаков видов растений [21-24]. Развитие и накопления информации в базах данных позволяет осуществлять более качественное обучение нейронных сетей. Стоит так же отметить работы, направленные на распознавание растений в естественной среде [25-28], которые решают задачи по фильтрации большого количества фоновых и адаптивных шумов.

Выводы

Системы дистанционного мониторинга и компьютерного зрения позволяют существенно упростить и улучшить качество работ по наблюдению и отслеживанию таких параметров лесных массивов, как: скорость роста и восстановления лесов, выявления вырубок и мест массовой гибели деревьев, проводить автоматической подсчет количества площадок, подготовленных для посадки деревьев.

При решении задач фенотипирования, применение технологий компьютерного зрения существенно снижает трудозатраты на проведения исследований, позволяя формировать цифровые базы данных с четкой структурой и классификацией по морфологическим признакам. Внедрение нейронных сетей в процесс обработки цифровых изображений позволяет повысить точность распознавание в среднем на 10-15 %.

Список литературы

1. Bouachir W., Ihou K.E., Gueziri H.E., Bouguila N., Belanger N., Computer Vision System for Automatic Counting of Planting Microsites Using UAV Imagery // IEEE ACCESS. 2019. vol. 7. pp. 82491-82500. DOI:10.1109/ACCESS.2019.2923765.

2. Богданов А.П., Карпов А.А., Демина Н.А., Алешко Р.А. Совершенствование мониторинга лесов путем использования облачных технологий как элемента устойчивого лесопользования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018, Т. 15, №1, С. 89–100, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-89-100.
3. Кашницкий А.В., Ховратович Т.С., Балашов И.В. Организация обработки данных ДЗЗ при решении задачи детектирования изменений лесного покрова на больших территориях // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019, Т. 16, №6, С. 103–111, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-103-111.
4. Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Балашов И.В., Константинова А.М. Технология создания инструментов обработки и анализа данных больших распределенных спутниковых архивов // *Оптика атмосферы и океана*. 2016, Т. 29, № 9, С.772–777, DOI: 10.15372/AOO20160908.
5. Marshak C., Simard M., Denbina M. Monitoring Forest Loss in ALOS/PALSAR Time-Series with Superpixels // *Remote Sens*. 2019, vol. 11, Article Number 556, doi:10.3390/rs11050556.
6. Ховратович Т.С., Барталев С.А., Кашницкий А.В. Метод детектирования изменений лесов на основе подпиксельной оценки проективного покрытия древесного полога по разновременным спутниковым изображениям // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019, Т. 16, № 4, С.102–110, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110.
7. Ховратович Т.С., Иванова А.А., Барталев С.А. Анализ результатов применения алгоритма детектирования рубок леса по спутниковым данным дистанционного зондирования // *Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли — RORSE 2018: сб. ст. конф. ИКИ РАН*. 2019, С. 108–115, DOI: 10.21046/rorse2018.108.
8. Gao Y., Quevedo A., Szantai Z., Skutsch M. Monitoring forest disturbance using time-series MODIS NDVI in Michoacán // *Mexico, Geocarto International*. 2019, DOI: 10.1080/10106049.2019.1661032.
9. Smirnov A., Proshkin Y., Sokolov A., Dorokhov A. Portable spectral device for monitoring plant stress conditions E3S Web of Conferences 210, 05016 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021005016>
10. Dayrat B. Towards integrative taxonomy // *Biological journal of the linnean society*. 2005, vol. 85(3), pp. 407–415, DOI: 10.1111/j.1095-8312.2005.00503.x.
11. Gaston K.J., O'Neill M.A. Automated species identification: why not? // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2004, vol. 359 (1444), pp. 655–667, DOI:10.1098/rstb.2003.1442.
12. Ren S.Q., He K.M., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // *IEEE Trans Pattern Anal Mach intelligence*. 2017, Vol. 39(6), pp. 1137–49, DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2577031.
13. Jin S.C., Su Y.J., Gao S., Wu F.F., Hu T.Y., Liu J., Li W.K. Deep learning: individual maize segmentation from terrestrial lidar data using faster R-CNN and regional growth algorithms. *Frontiers in plant science*. 2018, Vol. 9, N. 866, DOI: 10.3389/fpls.2018.00866.
14. Fuentes A., Yoon S., Kim S.C., Park D.S. A Robust Deep-Learning-Based Detector for Real-Time Tomato Plant Diseases and Pests Recognition // *Sensors (Basel)*. 2017, Vol. 17(9), N. 02022, DOI: 10.3390/s17092022.
15. Shelhamer E., Long J., Darrell T., Fully convolutional networks for semantic segmentation // *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence*. 2017, vol. 39(4), pp. 640–651, DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2572683.
16. Bora D. J. Importance of image enhancement techniques in color image segmentation: a comprehensive and comparative study // *Indian Journal of Scientific Research*. 2017, Vol. 15(1), pp. 115–131, DOI: DOI: 10.6084/m9.figshare.5280799.
17. Santana F.S., Costa A.H.R., Truzzi F.S., Silva F.L., Santos S.L., Franco T.M., Saraiva A.M. A reference process for automating bee species identification based on wing images and digital image processing // *Ecological informatics*. 2014, vol. 24, pp. 248–260, DOI: 10.1016/j.ecoinf.2013.12.001.
18. Wu S.G., Bao F.S., Xu E.Y., Wang Y.X., Chang Y.F., Xiang Q.L. A leaf recognition algorithm for plant classification using Probabilistic Neural Network // *7th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*. 2007, DOI: 10.1109/ISSPIT.2007.4458016.
19. Kaur S., Kaur P. Plant Species Identification based on Plant Leaf Using Computer Vision and Machine Learning Techniques // *Journal of Multimedia Information System*. 2019, Vol. 6(1), pp. 49–60, DOI: <https://doi.org/10.33851/JMIS.2019.6.2.49>.
20. Mohanaiah P., Sathyanarayana P., GuruKumar L. Image texture feature extraction using GLCM approach // *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2013, Vol. 3(5), pp. 1–5, ISSN 2250-3153.
21. Wu H., Wang L., Zhang F., Wen Z. Automatic leaf recognition from a big hierarchical image database // *International journal of intelligent systems*. 2015, Vol. 30(8), pp. 871–886, DOI: 10.1002/int.21729.
22. Aakif A., Khan MF. Automatic classification of plants based on their leaves // *Biosystems engineering*. 2015, Vol. 139, pp. 66–75, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.08.003.
23. Mzoughi O., Yahiaoui I., Boujemaa N., Zagrouba E. Semantic-based automatic structuring of leaf images for advanced plant species identification // *Multimedia tools and applications*. 2016, Vol. 75(3), pp. 1615–1646, DOI: 10.1007/s11042-015-2603-8.
24. Seeland M., Rzanny M., Alaqraa N., Thuille A., Boho D., Wäldchen J., Mäder P. Description of flower colors for image based plant species classification // In:

Proceedings of the 22nd German Color Workshop. 2016, pp. 145–154, ISBN: 978-3-00-053918-3.

25. Zhu Y.S., Sun W.M., Cao X.Y., Wang C.Y., Wu D.Y., Yang Y., Ye N. TA-CNN: Two-way attention models in deep convolutional neural network for plant recognition // *Neurocomputing*. 2019, Vol. 365, pp. 191–200, DOI: 10.1016/j.neucom.2019.07.016.

26. Zhu X.L., Zhu M., Ren H.E. Method of plant leaf recognition based on improved deep convolutional neural network // *Cognitive systems research*. 2018, Vol. 52, pp. 223–233, DOI: 10.1016/j.cogsys.2018.06.008.

27. Xu H.G., Li Y., Cao W.C. Plant Image Recognition Based on Improved Convolutional Neural Network // *Revista de la facultad de agronomia de la universidad del zulia*. 2019, Vol. 36(6), pp. 2154–2162.

28. Guo Y.J., Wang D.Y., Zhu H.W., Li A.L. Recognition of a Plant Leaf Based on Convolutional Neural Networks // *Tenth international conference on digital image processing (ICDIP 2018)*. Proceedings of SPIE. 2018, Vol. 10806, DOI: 10.1117/12.2503098.

References

1. Bouachir W., Ihou K.E., Gueziri H.E., Bouguila N., Belanger N., Computer Vision System for Automatic Counting of Planting Microsites Using UAV Imagery // *IEEE ACCESS*. 2019, vol. 7, pp. 82491–82500, DOI:10.1109/ACCESS.2019.2923765.

2. Bogdanov A.P., Karpov A.A., Demina N.A., Aleshko R.A. Sovershenstvovanie monitoringa lesov putem ispol'zovaniya oblachnykh tekhnologiy kak elementa ustojchivogo lesoupravleniya [Improving forest monitoring through the use of cloud technology as an element of sustainable forest management] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2018, vol. 15 (1), pp. 89–100, DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-1-89-100.

3. Kashnickij A.V., Hovratovich T.S., Balashov I.V. Organizatsiya obrabotki dannyh DZZ pri reshenii zadachi detektirovaniya izmenenij lesnogo pokrova na bol'shih territoriyah [Organization of remote sensing data processing in solving the problem of detecting changes in forest cover in large areas] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2019, vol. 16 (6), pp. 103–111, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-103-111.

4. Kashnickij A.V., Lupyan E.A., Balashov I.V., Konstantinova A.M. Tekhnologiya sozdaniya instrumentov obrabotki i analiza dannyh bol'shih raspredelennykh sputnikovyykh arhivov [Technology for creating tools for processing and analyzing data from large distributed satellite archives] // *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and the ocean]. 2016, vol. 29, № 9, C.772–777, DOI: 10.15372/AOO20160908.

5. Marshak C., Simard M., Denbina M. Monitoring Forest Loss in ALOS/PALSAR Time-Series with Superpixels // *Remote Sens*. 2019, vol. 11, Article Number 556, doi:10.3390/rs11050556.

6. Hovratovich T.S., Bartalev S.A., Kashnickij A.V. Metod detektirovaniya izmenenij lesov na osnove podpiksel'noj ocenki proektivnogo pokrytiya drevesnogo pologa po raznovremennym sputnikovym izobrazheniyam [A method for detecting forest changes based on a sub-pixel estimate of the projective cover of a canopy using satellite images of different times] // *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2019, vol. 16(4), pp.102–110, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-102-110.

7. Hovratovich T.S., Ivanova A.A., Bartalev S.A. Analiz rezul'tatov primeneniya algoritma detektirovaniya rubok lesa po sputnikovym dannym distancionnogo zondirovaniya [Analysis of the results of the application of the algorithm for detecting forest logging using satellite remote sensing data] // *Informacionnye tekhnologii v distancionnom zondirovanii Zemli* [Information Technologies in Remote Sensing of the Earth], 2019, pp. 108–115, DOI: 10.21046/forse2018.108.

8. Gao Y., Quevedo A., Szantoi Z., Skutsch M. Monitoring forest disturbance using time-series MODIS NDVI in Michoacán // *Mexico, Geocarto International*. 2019, DOI: 10.1080/10106049.2019.1661032.

9. Smirnov A., Proshkin Y., Sokolov A., Dorokhov A. Portable spectral device for monitoring plant stress conditions E3S Web of Conferences 210, 05016 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021005016>

10. Dayrat B. Towards integrative taxonomy // *Biological journal of the linnean society*. 2005, vol. 85(3), pp. 407–415, DOI: 10.1111/j.1095-8312.2005.00503.x.

11. Gaston K.J., O'Neill M.A. Automated species identification: why not? // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2004, vol. 359 (1444), pp. 655–667, DOI:10.1098/rstb.2003.1442.

12. Ren S.Q., He K.M., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks // *IEEE Trans Pattern Anal Mach intelligence*. 2017, Vol. 39(6), pp. 1137–49, DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2577031.

13. Jin S.C., Su Y.J., Gao S., Wu F.F., Hu T.Y., Liu J., Li W.K. Deep learning: individual maize segmentation from terrestrial lidar data using faster R-CNN and regional growth algorithms. *Frontiers in plant science*. 2018, Vol. 9, N. 866, DOI: 10.3389/fpls.2018.00866.

14. Fuentes A., Yoon S., Kim S.C., Park D.S. A Robust Deep-Learning-Based Detector for Real-Time Tomato Plant Diseases and Pests Recognition // *Sensors (Basel)*. 2017. Vol. 17(9). N. 02022. DOI: 10.3390/s17092022.

15. Shelhamer E., Long J., Darrell T., Fully convolutional networks for semantic segmentation // *IEEE Trans*

Pattern Anal Mach Intelligence. 2017, vol. 39(4), pp. 640-651, DOI: 10.1109/TPAMI.2016.2572683.

16. Bora D. J. Importance of image enhancement techniques in color image segmentation: a comprehensive and comparative study // Indian Journal of Scientific Research. 2017, Vol. 15(1), pp. 115-131, DOI: DOI: 10.6084/m9.figshare.5280799.

17. Santana F.S., Costa A.H.R., Truzzi F.S., Silva F.L., Santos S.L., Franco T.M., Saraiva A.M. A reference process for automating bee species identification based on wing images and digital image processing // Ecological informatics. 2014, vol. 24, pp. 248-260, DOI: 10.1016/j.ecoinf.2013.12.001.

18. Wu S.G., Bao F.S., Xu E.Y., Wang Y.X., Chang Y.F., Xiang Q.L. A leaf recognition algorithm for plant classification using Probabilistic Neural Network // 7th IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. 2007, DOI: 10.1109/ISSPIT.2007.4458016.

19. Kaur S., Kaur P. Plant Species Identification based on Plant Leaf Using Computer Vision and Machine Learning Techniques // Journal of Multimedia Information System. 2019, Vol. 6(1), pp. 49-60, DOI: <https://doi.org/10.33851/JMIS.2019.6.2.49>.

20. Mohanaiah P., Sathyanarayana P., GuruKumar L. Image texture feature extraction using GLCM approach // International Journal of Scientific and Research Publications. 2013, Vol. 3(5), pp. 1-5, ISSN 2250-3153.

21. Wu H., Wang L., Zhang F., Wen Z. Automatic leaf recognition from a big hierarchical image database // International journal of intelligent systems. 2015, Vol. 30(8), pp. 871-886, DOI: 10.1002/int.21729.

22. Aakif A., Khan MF. Automatic classification of plants based on their leaves // Biosystems engineering. 2015, Vol. 139, pp. 66-75, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.08.003.

23. Mzoughi O., Yahiaoui I., Boujemaa N., Zagrouba E. Semantic-based automatic structuring of leaf images for advanced plant species identification // Multimedia tools and applications. 2016, Vol. 75(3), pp. 1615-1646, DOI: 10.1007/s11042-015-2603-8.

24. Seeland M., Rzanny M., Alaqraa N., Thuille A., Boho D., Wäldchen J., Mäder P. Description of flower colors for image based plant species classification // In: Proceedings of the 22nd German Color Workshop. 2016, pp. 145-154, ISBN: 978-3-00-053918-3.

25. Zhu Y.S., Sun W.M., Cao X.Y., Wang C.Y., Wu D.Y., Yang Y., Ye N. TA-CNN: Two-way attention models in deep convolutional neural network for plant recognition // Neurocomputing. 2019, Vol. 365, pp. 191-200, DOI: 10.1016/j.neucom.2019.07.016.

26. Zhu X.L., Zhu M., Ren H.E. Method of plant leaf recognition based on improved deep convolutional neural network // Cognitive systems research. 2018, Vol. 52, pp. 223-233, DOI: 10.1016/j.cogsys.2018.06.008.

27. Xu H.G., Li Y., Cao W.C. Plant Image Recognition Based on Improved Convolutional Neural Network // Revista de la facultad de agronomia de la universidad del zulia. 2019, Vol. 36(6), pp. 2154-2162.

28. Guo Y.J., Wang D.Y., Zhu H.W., Li A.L. Recognition of a Plant Leaf Based on Convolutional Neural Networks // Tenth international conference on digital image processing (ICDIP 2018). Proceedings of SPIE. 2018, Vol. 10806, DOI: 10.1117/12.2503098.

Информация об авторах

Смирнов Александр Анатольевич, канд. техн. наук, ст.н.с.

E-mail: alexander8484@inbox.ru

Прошкин Юрий Алексеевич, канд. техн. наук, ст.н.с.

E-mail: yproshkin@gmail.com

Качан Сергей Александрович, мл.н.с.

Павлова Елена Валерьевна, лаборант-исследователь

E-mail: elena_pavlova85@mail.ru

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,

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

Information about the authors

Smirnov Aleksandr Anatolevich, Cand. of Techn. Sciences, Senior Research

E-mail: alexander8484@inbox.ru

Proshkin Yuriy Alekseevich, Cand. of Techn. Sciences, Senior Research

E-mail: yproshkin@gmail.com

Kachan Sergey Aleksandrovich, Junior researcher

E-mail: 89263745692@mail.ru

Pavlova Elena Valerievna, laboratory assistant-researcher

E-mail: elena_pavlova85@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

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

С.А. Хозяйкина

магистрант

ФГБОУВО Новосибирский государственный
аграрный университет, Министерство
сельского хозяйства РФ

И.Н. Кубан

мл.н.с.

Е.В. Банаев

д-р. биол. наук, гл.н.с.

Центральный сибирский ботанический сад
СО РАН

Использование ISSR-праймеров для анализа внутривидового полиморфизма *Nitraria sibirica* Pall.

Проведен анализ полиморфизма ДНК *Nitraria sibirica* Pall. из двадцати одной природной популяции Республики Алтай и Алтайского края с использованием ISSR-метода. Из шестнадцати протестированных ISSR-праймеров выявлены семь эффективных для анализа полиморфизма ДНК у *N. sibirica*. При амплификации ДНК с этими семью праймерами получено 99 фрагментов ДНК, из которых 66 были полиморфны. Генетическая дистанция *Nei* (*D*) между изученными популяциями составила 0,08–0,50, внутри популяций *N. sibirica* в среднем – 0,09. Наименьшая внутривидовая изменчивость отмечена в местообитании Кучук (*D*=0,077), наибольшая – в популяциях Джир и Рубцовск (*D*=0,20). Выявлен идентификационный ISSR-маркер для популяций рода *Nitraria* L. (*Nitrariaceae*), который может быть использован для изучения межвидовой и межпопуляционной изменчивости.

Ключевые слова: *Nitraria sibirica* Pall., ISSR-маркеры, генетический полиморфизм, редкий вид.

S.A. Khozyaykina

Undergraduate

Novosibirsk State Agrarian University, Ministry of
Agriculture of the Russian Federation

I.N. Kuban

Junior Researcher

E.V. Banaev

Dr. Sci. Biol., Principal researcher

Central Siberian Botanical Garden SB RAS

Use of ISSR primers for the analysis of intraspecific polymorphism in *Nitraria* *sibirica* Pall.

ISSR-markers polymorphism of twenty-one natural populations of *Nitraria sibirica* Pall. from Altai Republic and Altai Region was analysed. A total of 16 ISSR primers were tested, from which only 7 were selected as effective for DNA polymorphism in *N. sibirica*. These seven primers generated 99 bands, from which 66 were polymorphic. The *Nei* genetic distance between the studied populations was 0,08–0,50, and intra-population distance in *N. sibirica* averaged 0,09. The lowest level of intra-population variability was in the habitat Kuchuk (*D*=0,077), highest variability in the populations of Dzhiira and Rubtsovsk (*D*=0,20). An ISSR-marker was identified for genus *Nitraria* L., which can be used for studying interspecies and inter-population variability.

Keywords: *Nitraria sibirica* Pall., ISSR-markers, genetic polymorphism, rare species.

DOI: 10.25791/BBGRAN.03.2021.1099

Введение

Род *Nitraria* L. (*Nitrariaceae*) является представителем древней пустынной флоры и включает около 10 видов [1, 2]. Род распространен в степных, полупустынных и пустынных районах Малой, Центральной, Северной и Средней Азии, Юго-Восточной Европы, Северной Африки, Австралии. Популяции этого растения приурочены к интразональным почвам с высоким содержанием солей [3].

Одним из наиболее широко распространенных и полиморфных видов является *Nitraria sibirica* Pall., произрастающий в Средней Азии, Казахстане, Китае, Монголии, Сибири. Несмотря на значительный ареал, в Сибири

популяции этого вида обычно малочисленные и находятся в уязвимом состоянии. В целях сохранения локальных популяций *N. sibirica* включен в региональные Красные книги Республики Алтай, Республики Хакасия, Иркутской области, Забайкальского края, где этот вид относится к 2 и 3 природоохранным статусам [4–7].

Изучение генетического полиморфизма видов имеет значение для установления закономерностей эволюционных преобразований в определенных условиях среды и разработки методов сохранения конкретных генотипов [8]. Для изучения полиморфизма в популяциях наиболее удобными являются ДНК-маркерные системы, которые характеризуются значительным полиморфизмом и не зависят от

условий среды, в которой произрастает растение. К наиболее удобным и легко воспроизводимым методам относятся методы амплификации геномной ДНК с высоким показателем внутривидовой изменчивости [9]. Метод анализа межмикросателлитных последовательностей (ISSR), применяется для изучения генетического родства объектов, анализа генетического разнообразия и филогении таксонов, и наиболее эффективен для изучения изменчивости в пределах одного вида [10]. При оценке генетического разнообразия в природных популяциях близкого к нитрарии рода *Peganum*, было отмечено, что ISSR-маркеры выявляют более высокий уровень полиморфизма по сравнению с ITS и RFLP системами [11]. При этом использование ISSR-маркерной системы не всегда позволяет проследить

корреляцию между генетическим расхождением образцов и их географическим происхождением [12]. Значительное влияние на топологию филогенетических деревьев оказывает выбор молекулярного маркера, адекватного поставленной задаче и таксономическому уровню объекта, аналогично выбору признака или группы признаков при сравнительно-морфологическом анализе [13].

Цель исследования – подбор ISSR-праймеров для анализа генетической изменчивости *Nitraria sibirica*.

Материалы и методы

Образцы ДНК для генетического анализа были получены из 22 образцов *Nitraria* (*N. sibirica*, *N. schoberi* L.).

Таблица 1. Географическое положение популяций *Nitraria*

№ п/п	Условное обозначение	Вид	Название популяции	Место сбора
1	A1	<i>N. sibirica</i>	Джир	Алтайский край, Кулундинский район, восточный берег оз. Джир
2	A2			
3	A3			
4	A4			
5	B1		Кучук	Алтайский край, Благовещенский район, окр. п. Нижний Кучук
6	B2			
7	C		Угловское	Алтайский край, Угловский район, окр. с. Угловское
8	D		Балансор	Алтайский край, Угловский район, Круглянский сельсовет, берег оз. Балансор
9	E		Тассор	Алтайский край, Угловский район, берег оз. Б. Тассор
10	F		Чинкуссор	Алтайский край, Угловский район, берег оз. Чинкуссор
11	G		Веселоярск	Алтайский край, Рубцовский район, окр. с. Веселоярск
12	H		Новенькое	Алтайский край, Локтевский район, окр. с. Новенькое
13	I		Горняк	Алтайский край, Локтевский район, окр. с. Горняк
14	J1		Рубцовск	Алтайский край, окр. г. Рубцовск
15	J2			
16	J3			
17	K		Поспелиха	Алтайский край, Поспелихинский район, окр. с. Поспелиха, поворот на п. Вавилонский
18	L		Тобелер	Республика Алтай, Кош-Агачский район, окр. п. Тобелер
19	N1		Кош-Агач	Республика Алтай, Кош-Агачский район, в 13 км от с. Кош-Агач, берег озера в долине р. Чуя
20	N2			
21	N3			
22	X	<i>N. schoberi</i>	Кучук	Алтайский край, Благовещенский район, окр. п. Н. Кучук

Таблица 2. Характеристики ISSR-праймеров, использованных для изучения изменчивости *N. sibirica*

Название праймера	Нуклеотидная последовательность 5'-3'	T _{отжига} * (°C)	Количество амплифицированных фрагментов	Кол-во полиморфных фрагментов	P. %
UBC 807	(AG) ₈ T	52	10	8	80
M 11	(CA) ₆ R	49	13	7	53.8
17899 A	(CA) ₆ A-<G>	47	12	10	83.3
17898 B	(CA) ₆ GT	42	9	5	55.5
HB 10	(CAC) ₃ GC	51	20	14	86.6
HB 12	(GA) ₆ CC	42	18	8	55.5
17898A	(CA) ₆ AC	45	17	14	82.4

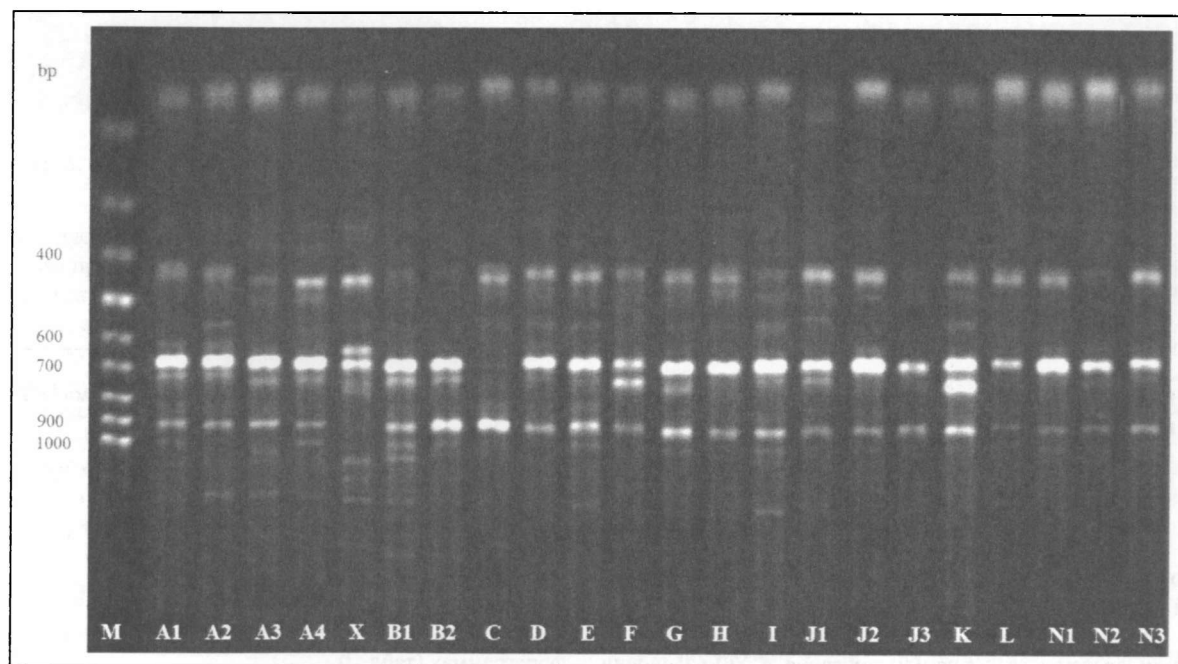


Рис. 1. ISSR-профили фрагментов, амплифицированных с помощью праймера UBC 807

собранных в ходе экспедиционных исследований 2011-2020 гг. в 13 природных популяциях Алтайского края и Республики Алтай (табл. 1).

ДНК выделяли из 5 мг высушенной по методике Liston et al (1990) ткани листьев посредством CTAB-метода [14]. ПЦП осуществлялась в амплификаторе БИС-Н М111-02 (БИС, Россия). Реакционная смесь содержала 10×Taq-буфер для ПЦП (BIORON), 10 mM MgCl₂ (BIORON), 10 mM ISSR-праймеры, смешанные (по 5 mM) dNTPs

(Медиген), 2 мкл матричной ДНК, 5U/μl DFS-Taq DNA Polimerase (BIORON), воду. Объем смеси для одного образца составлял 25 мкл. Образцы окрашивали красителем SYBR Green.

Амплификация проходила по следующему протоколу:

Первичная денатурация при 95 °C – 2 мин; 40 циклов включающих денатурацию ДНК при 94 °C – 0.40 мин, отжиг праймера – 1 мин, элонгацию цепи при 72 °C – 2 мин; окончательная дотройка цепей при 72 °C – 5 мин.

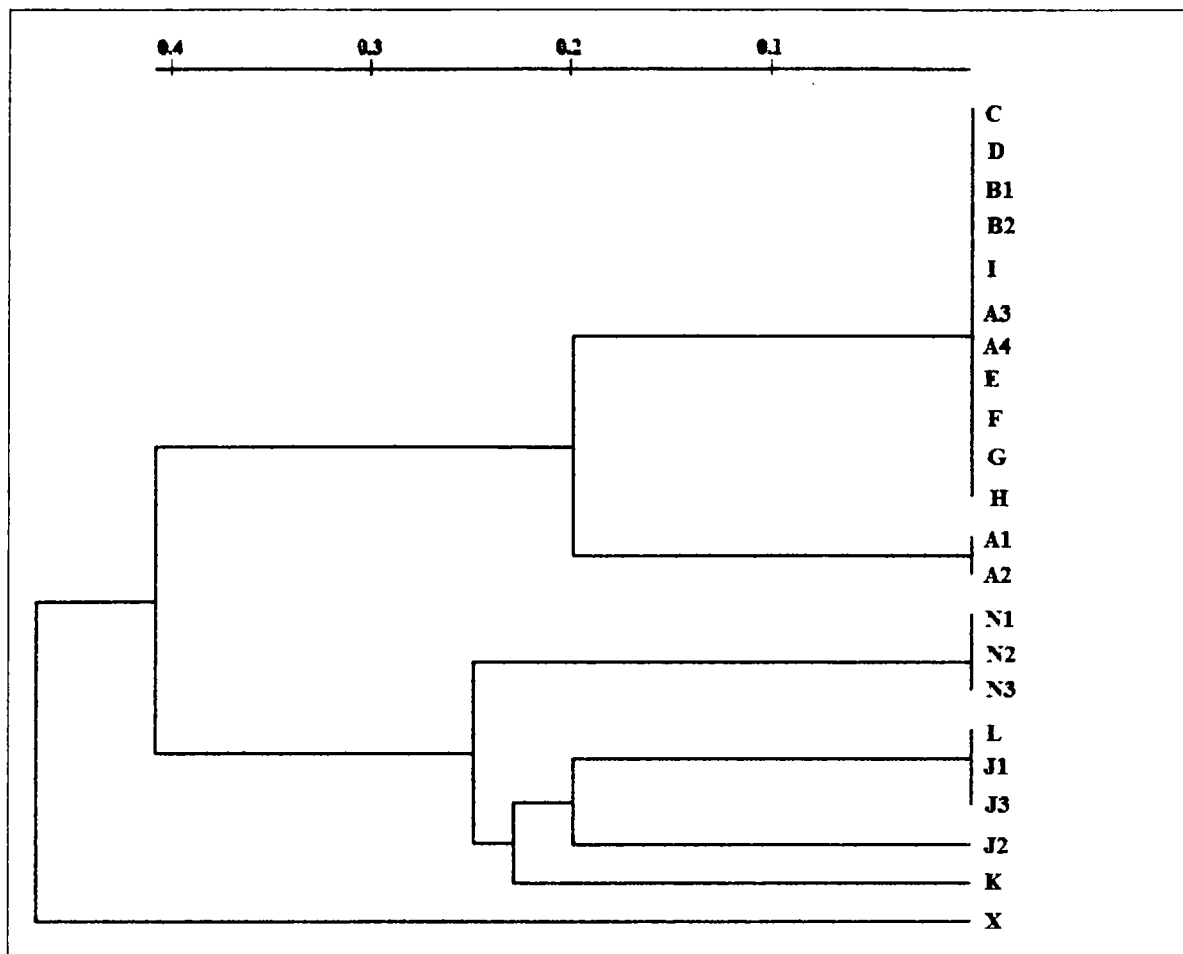


Рис. 2. Дендрограмма сходства образцов *Nitraria*, построенная методом UPGMA на основании полиморфизма ISSR-маркера UBC-807

Аmplified fragments were separated in an electrophoresis chamber in 1.5 % agarose gel. The chamber was filled with 1×TBE buffer.

Results of electrophoresis were visualized by the system gel-documentation in UV-radiation (Bio-Rad GelDoc XR+).

Sixteen primers were tested for effectiveness of amplification of PCR products for 22 selected *Nitraria* samples.

The level of polymorphism for each primer was calculated by the formula $P = N_p/N \cdot 100$, where N_p – number of polymorphic fragments, N – total number of fragments [15].

Dendrogram was constructed in the program TREECON (version 1.3 b) by the method UPGMA with bootstrap support – 100 pseudoreplicates [16]. Genetic distances were calculated by Nei [17].

Результаты

16 ISSR-primers were tested, of which 7 produced the most distinct profiles in electropherograms (table 2).

Обсуждение

On all profiles 99 fragments were revealed. 66 of them were polymorphic. On average one ISSR-primer initiated synthesis of 14.4 DNA fragments in *N. sibirica*. The number of amplified DNA fragments varied depending on the primer from 9 to 20, their sizes – from 400 to 1530 bp. The highest number of loci was revealed by primer HB 10, the lowest – primer 17898 B. The number of polymorphic loci, revealed by primers, varied from 5 (primer 17898 B) to 14 (primers HB 10 and 17898 A).

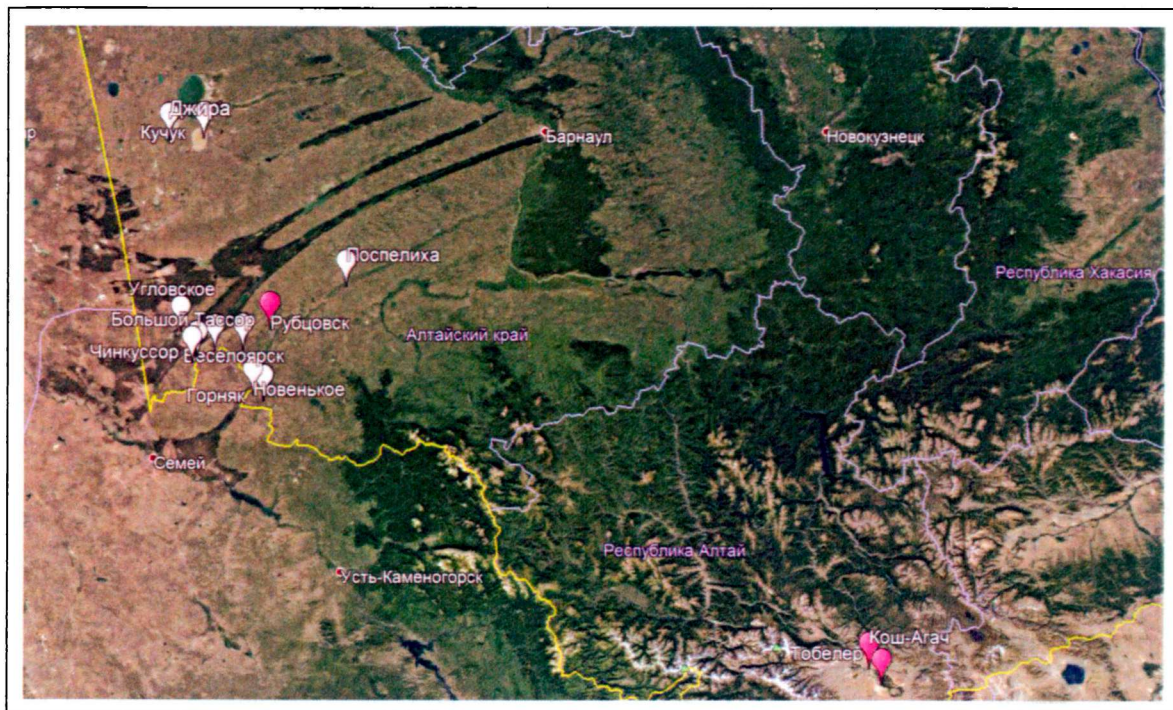


Рис. 3. Географическое размещение популяций *Nitraria sibirica*

Межвидовые и межпопуляционные различия выявлены только праймером UBC 807 (рис. 1). Фрагменты, уникальные для *N. schoberi*, находятся в диапазоне от 600 п.н. до 700 п.н., а также в районе спектра от 1000 п.н. При этом у *N. schoberi* отсутствуют фрагменты в области 900 п.н. присущие образцам *N. sibirica*.

Генетическое расстояние по Нею (D) между *N. sibirica* и *N. schoberi* варьировало от 0.54 до 0.82, при среднем значении $D=0.63$. Межпопуляционные различия *N. sibirica* составили в среднем $D=0.32$, лимиты – 0.08-0.50. Генетическое расстояние внутри популяций *N. sibirica* составило в среднем – $D=0.09$. Наименьшая внутривидовая изменчивость *N. sibirica* отмечена в местообитании Кучук ($D=0-0.077$), наибольшая – в популяциях Джирга и Рубцовск ($D=0-0.2$).

Межгрупповые отличия, в целом, согласуются с географической дифференциацией популяций *N. sibirica* (рис. 2, 3). Наибольшие дистанции выявлены между популяциями высокогорной Чуйской степи и популяциями из Кулундинской равнины. Исключение составляет популяция Рубцовск, образцы которой оказались генетически близкими к экземплярам из популяции Тобелер (рис. 3). Для исследования филогеографии *N. sibirica* требуются дальнейший анализ генетической изменчивости вида с использованием большего числа образцов и популяций.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволяет говорить о возможности использования ISSR-праймера UBC 807 для исследования уровня межвидовых различий в роде *Nitraria*, а также возможности его использования при филогеографическом анализе *N. sibirica*. Выявленные межпопуляционные различия образцов *N. sibirica* из географически отдаленных природных популяций свидетельствуют об их генетической дифференциации в условиях изоляции интразональных сообществ.

Благодарности

При подготовке публикации использовали материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН УНУ «Гербарий высших растений, лишайников и грибов (NS. NSK)». USU_440537.

Список литературы

1. Бобров Е.Г. О происхождении флоры пустынь Старого света в связи с обзором рода *Nitraria* L. // Ботанический журнал. 1965. Т. 50, №8. С. 1053–1057.

2. Банаев Е.В., Томошевич М.А., Ямтыров М. Б. Об изменчивости метрических и качественных признаков видов рода *Nitraria* L. в связи с эколого-климатическими условиями местообитаний Сибири // Сибирский экологический журнал, 2017, Т. 24, № 6, С. 746–757.
3. Худяев С.А., Банаев Е.В. Почвенно-галеохимические условия местообитаний видов рода *Nitraria* (Nitrariaceae) в южной части Сибирского региона // Сибирский экологический журнал. Т. 19, № 6, 2012. С. 841–849.
4. Красная книга Забайкальского края: Растения / Новосибирск: Дом мира, 2017. 384 с.
5. Красная книга Республики Алтай: Растения / Горно-Алтайск: Изд-во ГАГУ, 2017. 267 с.
6. Красная книга Республики Хакасия: Редкие и исчезающие виды растений и грибов / Новосибирск: Наука, 2012. 288 с.
7. Красная книга Иркутской области. Правительство Иркутской области. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области / Иркутск: ООО Издательство «Время странствий», 2010. 480 с.
8. Инге-Вечтомов С.Г. Экологическая генетика и теория эволюции // Вестник ВОГиС. 2009. Т. 13. № 2. С. 362–371.
9. Дорогина О.В., Жмудь Е.В. Молекулярно-генетические методы в экологии растений // Сибирский экологический журнал. 2020. № 4. С. 416–431. DOI: 10.15372/SEJ20200402
10. Bornet B., Branchard M. Nonanchored Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) markers: Reproducible and specific tools for genome fingerprinting // Plant Molecular Biology Reporter. 2001. 19. P. 209–215. DOI: 10.1007/BF02772892
11. EL-Bakatoushi R., Ahmed D. G. A. Evaluation of genetic diversity in wild populations of *Peganum harmala* L., a medicinal plant // Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 10. №1. 2018. P. 143–151. DOI: 10.1016/j.jgeb.2017.11.007
12. El-Kheir Z. A. A., El-Monayeri M. O., EL-Raof D. A. Evaluation of genetic diversity between some *Nitraria retusa* populations using molecular markers Al-Azhar Bulletin of Science. 2006. 17. №2. P. 47–66. DOI: 10.21608/ABSB.2006.14448
13. Абрамсон Н.И. Филогеография: итоги, проблемы, перспективы // Вестник ВОГиС. 2007. Т. 11. № 2. С. 307–331.
14. Doyle J.J. and Doyle J.L. A Rapid DNA Isolation Procedure for Small Quantities of Fresh Leaf Tissue // Phytochemical Bulletin. 1987. 19. P. 11–15.
15. Асбаганов С.В., Кобозева Е.В., Агафонов А.В. Применение электрофореза запасных белков семядолей и ISSR-маркеров для идентификации гибридов между *Sorbus sibirica* Hedl. и *Sorbocotoneaster pozdnjakovii* Pojark // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. №3. С. 486–496.
16. Peer Van de Y., Wachter R.D. TREECON for Windows: A software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment // Comput. Appl. Biosci. 1994. V. 10. P. 569–570.
17. Nei M., Li W.-H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1979. V. 76. № 10. P. 5269–5273.

References

1. Bobrov E.G. O proiskhozhdenii flory pustyn' Starogo sveta v svyazi s obzorom roda *Nitraria* L. [On the Origin of flora of the deserts of the Old World in conjunction with the review of *Nitraria* genus] // Botanicheskii Zhurnal. 1965. 50(8): 1053–1057. (in Russ.)
2. Banaev E.V., Tomoshevich M. A., Yamtyrov M. B. Variability of metric and qualitative traits of *Nitraria* species in relation to ecological and climatic conditions of Siberian habitats // Contemporary Problems of Ecology. 2017. 10: 664–673. DOI: 10.1134/S1995425517060038
3. Khudyaev S. A., Banaev E.V. The soil and galeo-geochemical conditions of locations of the species of the *Nitraria* (Nitrariaceae) genus in the southern part of the Siberian Region // Contemporary Problems of Ecology. 2012. 5: 597–601. DOI: 10.1134/S199542551206008X
4. Krasnaya kniga of Zabaykalsky Krai: Rasteniya [Red List of Zabaykalsky Krai: Plants]. Novosibirsk: Dom mira [Novosibirsk: Publishing house «Dom Mira»]. 2017. 384 p. (in Russ.)
5. Krasnaya kniga Respubliki Altai: Rasteniya [Red List of Altai Republic: Plants]. Gorno-Altaysk: Izd-vo GAGU [Gorno-Altaysk: Publishing house of Gorno-Altaysk State University]. 2017. 267 p. (in Russ.)
6. Krasnaya kniga Respubliki Khakasiya: Redkie i ischezayushchie vidy rastenii i gribov [Red List of Khakassia Republic: rare and endangered Species of Plants and Fungus]. Novosibirsk: Nauka [Novosibirsk: Publishing House «Nauka»]. 2012. 288 p. (in Russ.)
7. Krasnaya kniga Irkutskoi oblasti [Red List of Irkutsk Region]. Irkutsk: OOO Izdatel'stvo «Vremya stranstvii» [Irkutsk: Publishing House «Vremya stranstvii»]. 2010. 480 p. (in Russ.)
8. Inge-Vechtomov S.G. Ekhologicheskaya genetika i teoriya ehvolyutsii [Genetics and the theory of evolution] // Vestnik VOGIS [VOGIS Herald]. 2009. 13(2): 362–371.

9. Dorogina O.V., Zhmud E.V. Molekulyarno-geneticheskie metody v ehkologii rastenii [Molecular genetic methods in plant ecology] // Contemporary Problems of Ecology. 2020. 4: 416–431. DOI: 10.15372/SEJ20200402.
10. Bornet B., Branchard M. Nonanchored Inter Simple Sequence Repeat (ISSR) markers: Reproducible and specific tools for genome fingerprinting // Plant Molecular Biology Reporter. 2001. 19: 209–215. DOI: 10.1007/BF02772892.
11. EL-Bakatoushi R., Ahmed D. G. A. Evaluation of genetic diversity in wild populations of *Peganum harmala* L., a medicinal plant // Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2018. 10(1): 143–151. DOI: 10.1016/j.jgeb.2017.11.007.
12. El-Kheir Z. A. A., El-Monayeri M. O., EL-Raof D. A. Evaluation of genetic diversity between some *Nitraria retusa* populations using molecular markers Al-Azhar Bulletin of Science. 2006. 17(2): 47–66. DOI: 10.21608/absb.2006.14448.
13. Abramson N.I. Filogeografiya: itogi, problema, perspektivy [Phylogeography: results, issues and perspectives] // Vestnik VOGIS [VOGiS Herald]. 2007. 11(2): 307–331.
14. Doyle J.J., Doyle J.L. A Rapid DNA Isolation Procedure for Small Quantities of Fresh Leaf Tissue // Phytochemical Bulletin. 1987. 19: 11–15.
15. Asbaganov S.V., Kobozeva E.V., Agafonov A.V. Application of the electrophoresis of cotyledon storage protein and ISSR-markers to the identification of hybrids between *Sorbus sibirica* Hedl. and *Sorbo cotoneaster pozdnjakovii* Pojark // Vavilov journal of genetics and breeding. 2014. 18(3): 486–496.
16. Peer Van de Y., Wachter R.D. TREECON for Windows: A software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment // Comput. Appl. Biosci. 1994. V. 10. P. 569–570.
17. Nei M., Li W.-H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases // Proceedings of the National Academy of Sciences. 1979. V. 76. № 10. P. 5269–5273.

Информация об авторах

Хозяйкина Софья Алексеевна, магистрант
E-mail: skhozyaykina@gmail.com
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный аграрный университет, Министерство сельского хозяйства РФ
630039, Россия Новосибирск, ул. Добролюбова, 160
Кубан Ирина Николаевна, мл.н.с.
E-mail: Irinakuban@gmail.com
Банаев Евгений Викторович, д-р. биол. наук, гл.н.с.
E-mail: alnus2005@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
630090, Российская Федерация, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101

Information about the authors

Khozyaykina Sofya Alekseevna, Undergraduate
E-mail: skhozyaykina@gmail.com
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Novosibirsk State Agrarian University, Ministry of Agriculture of the Russian Federation
630039 Russian Federation, Novosibirsk, Dobrolyubova st. 160
Kuban Irina Nikolaevna, Junior Researcher
E-mail: Irinakuban@gmail.com
Banaev Evgeny Victorovich, Dr. Sci. Biol., Principal researcher
E-mail: alnus2005@mail.ru
Federal State Budgetary Institution of Science Central Siberian botanical garden SB RAS,
630090 Russian Federation, Novosibirsk, Zolotodolinskaya st. 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 форматруется, 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 связанной 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 озаглавляется 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.