

ISSN: 2658-6266 (Print)

ISSN: 2658-6258 (Online)

БИОТЕХНОЛОГИЯ И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

5(1), 2022



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕНЕТИЧЕСКИХ
РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА (ВИР)



THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER
EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL RESEARCH CENTER
THE N.I. VAVILOV ALL-RUSSIAN INSTITUTE OF
PLANT GENETIC RESOURCES (VIR)

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

БИОТЕХНОЛОГИЯ И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

2022, 5(1)

ОСНОВАН В 2018 ГОДУ
ПЕРИОДИЧНОСТЬ 4 РАЗА В ГОД

*Для биотехнологов, селекционеров, генетиков,
преподавателей вузов биологического
и сельскохозяйственного профиля.*

e-mail: pbi@vir.nw.ru

190000 Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Б. Морская, 42, 44

© Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1
УДК: 573.6:631.527

ПИ № ФС 77–74475
ISSN: 2658-6266 (Print)
ISSN: 2658-6258 (Online)

SCIENTIFIC PEER REVIEWED JOURNAL

PLANT BIOTECHNOLOGY AND BREEDING

2022, 5(1)

FOUNDED IN 2018
PUBLISHED 4 TIMES ANNUALLY

*Addressed to biotechnologists, geneticists,
plant breeders and lecturers of biological
and agricultural universities and colleges.*

e-mail: pbi@vir.nw.ru

42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia

© Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR)

На обложке:

материал к статье «Сохранение сортовых ресурсов картофеля в полевой и *in vitro* коллекциях Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха», авторы - Е.В. Овэс , Н.А. Гаитова , О.А. Шишкина. Фотографии.

On the Cover:

materials to the article « Maintenance of potato varieties in *in vitro* and field collections of the Russian Potato Research Center» by Elena V. Oves, Natalia A. Gaitova, Olga A. Shishkina. Photos.

Биотехнология и селекция растений

2022 Том 5 № 1

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1
<https://biosel.elpub.ru>

Научный рецензируемый журнал
Издается с 2018 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС 77 - 74475 от 30.11.2018

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова»

Главный редактор:

Е. К. Хлесткина – д.б.н., профессор РАН

Заместители главного редактора:

Т. А. Гавриленко – д.б.н.

И. Н. Анисимова – д.б.н.

Л. Ю. Новикова – д.с.-х.н.

Ответственный секретарь:

И. В. Варганова

Редакционный совет:

О. С. Афанасенко – д.б.н., академик РАН (Россия)
Г. А. Баталова – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
Р. К. Берсимбаев – д.б.н., академик НАН РК (Казахстан)
Л. А. Беспалова – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
А. И. Грабовец – д.с.-х.н., чл.-корр. РАН (Россия)
С. И. Гриб – д.с.-х.н., академик НАНБ (Беларусь)
Е. А. Егоров – д.э.н., академик РАН (Россия)
В. Г. Еремин – д.с.-х.н., профессор РАН (Россия)
Г. В. Еремин – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
Г. И. Карлов – д.б.н., чл.-корр. РАН (Россия)
А. В. Кильчевский – д.б.н., академик НАНБ (Беларусь)
Н. А. Колчанов – д.б.н., академик РАН (Россия)
В. Н. Корзун – д-р (Германия)
А. В. Кочетов – д.б.н., чл.-корр. РАН (Россия)
Н. В. Кухарчик – д.с.-х.н. (Беларусь)
В. М. Лукомец – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
Л. А. Лутова – д.б.н. (Россия)
С. Мишева – д-р (Болгария)
А. И. Моргун – д-р (Турция)
В. Ройчев – д.с.-х.н. (Болгария)
А. А. Романенко – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
А. В. Рындин – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
Е. Н. Седов – д.с.-х.н., академик РАН (Россия)
И. А. Тихонович – д.б.н., академик РАН (Россия)
П. Н. Харченко – д.б.н., академик РАН (Россия)
Л. В. Хотылева – д.б.н., академик НАНБ (Беларусь)
В. К. Шумный – д.б.н., академик РАН (Россия)

Редакционная коллегия:

Е. Е. Андронов – к.б.н. (Россия)
Д. А. Афонников – к.б.н. (Россия)
А. Х. Баймиев – д.б.н. (Россия)
И. А. Белан – к.с.-х.н. (Россия)
А. Г. Беседин – к.с.-х.н. (Россия)
М. А. Вишнякова – д.б.н. (Россия)
В. А. Гаврилова – д.б.н. (Россия)
С. В. Гаркуша – д.с.-х.н. (Россия)
Т. А. Гасанова – к.с.-х.н. (Россия)
С. В. Герасимова – к.б.н. (Россия)
М. С. Гинс – д.б.н., чл.-корр. РАН (Россия)
С. В. Гончаров – д.б.н. (Россия)
Р. О. Давоян – д.б.н. (Россия)
Я. Н. Демури – д.б.н. (Россия)
М. Г. Дивашук – к.б.н. (Россия)
С. Н. Еланский – д.б.н. (Россия)
О. В. Еремина – д.с.-х.н. (Россия)
А. П. Ермишин – д.б.н. (Беларусь)
М. В. Ефимова – к.б.н. (Россия)
Р. Ш. Заремук – д.с.-х.н. (Россия)
С. В. Зеленцов – д.с.-х.н., чл.-корр. РАН (Россия)
Е. Т. Ильницкая – к.б.н. (Россия)
Р. Н. Календарь – к.б.н. (Казахстан)
Н. Н. Карпун – к.б.н. (Россия)
В. С. Ковалев – д.с.-х.н. (Россия)
Н. Н. Коваленко – д.б.н. (Россия)
Е. З. Кочиева – д.б.н. (Россия)
Б. Р. Кулуев – д.б.н. (Россия)
К. У. Куркиев – д.б.н. (Россия)
С. В. Кушнаренко – к.б.н. (Казахстан)
И. Н. Леонова – д.б.н. (Россия)
И. Е. Лихенко – д.с.-х.н. (Россия)
В. В. Лиховской – д.с.-х.н. (Россия)
П. Н. Мальчиков – д.с.-х.н. (Россия)
Т. В. Матвеева – д.б.н. (Россия)
Н. В. Мироненко – д.б.н. (Россия)
И. В. Митрофанова – д.б.н. (Россия)
Е. И. Михайлова – д.б.н. (Россия)
С. В. Осипова – д.б.н. (Россия)
В. Н. Подорожный – к.с.-х.н. (Россия)
Т. Г. Причко – д.с.-х.н. (Россия)
Т. А. Рожмина – д.б.н. (Россия)
А. В. Смыков – д.с.-х.н. (Россия)
А. А. Соловьев – д.б.н., профессор РАН (Россия)
И. И. Супрун – к.б.н. (Россия)
Е. К. Турусбеков – к.б.н. (Казахстан)
Е. В. Ульяновская – д.с.-х.н. (Россия)
О. Ю. Урбанович – д.б.н. (Беларусь)
Ю. В. Фотев – к.с.-х.н. (Россия)
Э. Б. Хатев – д.б.н. (Россия)
Я. А. Цепилов – к.б.н. (Россия)
М. Н. Шаптуренко – д.б.н. (Беларусь)
О. Ю. Шоева – к.б.н. (Россия)
Л. А. Эльконин – д.б.н. (Россия)
Г. В. Якуба – к.б.н. (Россия)

Plant Biotechnology and Breeding

2022 Volume 5 No 1
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1
<https://biosel.elpub.ru>

Scientific Peer Reviewed Journal

Founded in 2018

Founder: Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources

Editor-in-Chief:

E. K. Khlestkina – Dr. Sci. in Biol., Professor.

Deputy Editors-in-Chief:

T. A. Gavrilenko – Dr. Sci. in Biol.

I. N. Anisimova – Dr. Sci. in Biol.

L. Yu. Novikova – Dr. Sci. in Agricul.

Executive Secretary:

I. V. Varganova

Editorial council:

O. S. Afanasenko – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the RAS (Russia)
G. A. Batalova – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
R. K. Bersimbaev – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the NAS RK (Kazakhstan)
L. A. Bespalova – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
E. A. Egorov – Dr. Sci. in Econ., Full Member of the RAS (Russia)
G. V. Eremin – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
V. G. Eremin – Dr. Sci. in Agricul., Professor (Russia)
A. I. Grabovets – Dr. Sci. in Agricul., Corr. Member of the RAS (Russia)
S. I. Grib – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the NAS of Belarus (Belarus)
G. I. Karlov – Dr. Sci. in Biol., Corr. Member of the RAS (Russia)
P. N. Kharchenko – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the RAS (Russia)
L. V. Khotyleva – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the NAS of Belarus (Belarus)
A. V. Kilchevsky – Dr. Sci. in Biol., Corr. Member of the NAS of Belarus (Belarus)
A. V. Kochetov – Dr. Sci. in Biol., Corr. Member of the RAS (Russia)
N. A. Kolchanov – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the RAS (Russia)
V. N. Korzun – Dr. (Germany)
N. V. Kukharchik – Dr. Sci. in Agricul. (Belarus)
V. M. Lukomets – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
L. A. Lutova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
S. Misheva – Dr. (Bulgaria)
A. I. Morgunov – Dr. (Turkey)
A. A. Romanenko – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
A. V. Ryndin – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
V. Roychev – Dr. Sci. in Agricul. (Bulgaria)
E. N. Sedov – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)
V. K. Shumny – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the RAS (Russia)
I. A. Tikhonovich – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the RAS (Russia)

Editorial board:

D. A. Afonnikov – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
E. E. Andronov – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
A. H. Bajmiev – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
I. A. Belan – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)
A. G. Besedin – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)
R. O. Davoyan – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
Ya. N. Demurin – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
M. G. Divashuk – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
M. V. Efimova – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
S. N. Elansky – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
L. A. Elkonin – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
O. V. Eremina – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
A. P. Ermishin – Dr. Sci. in Biol. (Belarus)
Yu. V. Fotev – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)
S. V. Garkusha – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
T. A. Gasanova – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)
V. A. Gavrilova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
S. V. Gerasimova – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
M. S. Gins – Dr. Sci. in Biol., Corr. Member of the RAS (Russia)
S. V. Goncharov – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
E. T. Ilnitskaya – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
R. N. Kalendar – Cand. Sci. in Biol. (Kazakhstan)
N. N. Karpun – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
E. B. Khatefov – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
E. Z. Kochieva – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
N. N. Kovalenko – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
V. S. Kovalev – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
B. R. Kuluev – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
K. U. Kurkiev – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
S. V. Kushnarenko – Cand. Sci. in Biol. (Kazakhstan)
I. N. Leonova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
I. E. Lihenko – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
V. V. Likhovskoi – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
P. N. Malchikov – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
T. V. Matveeva – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
N. V. Mironenko – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
I. V. Mitrofanova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
E. I. Mikhailova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
S. V. Osipova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
V. N. Podorozhniy – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)
T. G. Prichko – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
T. A. Rozhmina – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
M. N. Shapturenko – Dr. Sci. Biology (Belarus)
O. Yu. Shoeva – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
A. V. Smykov – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
A. A. Soloviev – Dr. Sci. in Biol., Professor (Russia)
I. I. Suprun – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
Ya. A. Tsepilov – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
E. K. Turuspekov – Cand. Sci. in Biol.
E. V. Ulyanovskaya – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
O. Yu. Urbanovich – Dr. Sci. in Biol. (Belarus)
M. A. Vishnyakova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
G. V. Yakuba – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
R. Sh. Zaremuk – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
S. V. Zelentsov – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА	4
<i>Хлесткина Е. К.</i>	
ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ	
ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ	5
<i>Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Гавриленко Т.А.</i>	
МАРКЕРЫ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ФИТОФТОРОЗУ, У ВИРУСУ КАРТОФЕЛЯ И ЗОЛОТИСТОЙ КАРТОФЕЛЬНОЙ НЕМАТОДЕ У ПЕРСПЕКТИВНЫХ КЛОНОВ МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ КАРТОФЕЛЯ.	
СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ	17
<i>Камнев А.М., Дунаева С.Е., Волкова Н.Н., Лисицына О.В., Гавриленко Т.А.</i>	
КРИОКОНСЕРВАЦИЯ ОБРАЗЦОВ СОРТОВ МАЛИНЫ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ ИЗ <i>IN VITRO</i> КОЛЛЕКЦИИ ВИР.	
МЕТОДЫ БИОТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВЕ РАСТЕНИЙ	28
<i>Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А.</i>	
СОХРАНЕНИЕ СОРТОВЫХ РЕСУРСОВ КАРТОФЕЛЯ В ПОЛЕВОЙ И <i>IN VITRO</i> КОЛЛЕКЦИЯХ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА КАРТОФЕЛЯ ИМЕНИ А.Г. ЛОРХА.	
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	42
<i>Нижников А.А., Хлесткина Е.К., Тихонович И.А.</i>	
К ЮБИЛЕЮ ВЫДАЮЩЕГОСЯ СЕЛЕКЦИОНЕРА, ВИЦЕ- ПРЕЗИДЕНТА ВОГиС, АКАДЕМИКА РАН ЛЮДМИЛЫ АНДРЕЕВНЫ БЕСПАЛОВОЙ.	
<i>Хлесткина Е.К., Нижников А.А., Тихонович И.А.</i>	47
БИОИНФОРМАТИКА ПРИРАСТАЕТ СИБИРЬЮ: К ЮБИЛЕЮ АКАДЕМИКА РАН НИКОЛАЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА КОЛЧАНОВА.	

CONTENTS

FROM THE EDITOR IN CHIEF	4
<i>Khlestkina E. K.</i>	
INTRODUCTORY ARTICLE	
STUDY OF PLANT GENETIC RESOURCES USING MOLECULAR GENETICS METHODS	5
<i>Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Gavrilenko T.A.</i>	
MARKERS OF GENES FOR RESISTANCE TO LATE BLIGHT, POTATO VIRUS Y AND POTATO CYST NEMATODE IDENTIFIED IN ADVANCED INTERSPECIFIC POTATO HYBRIDS.	
CONSERVATION OF PLANT GENETIC RESOURCES USING BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES	17
<i>Kamnev A.M., Dunaeva S.E., Volkova N.N., Lisitsyna O.V., Gavrilenko T.A.</i>	
CRYOPRESERVATION OF RASPBERRY CULTIVAR ACCESSIONS BRED IN RUSSIA FROM THE VIR <i>IN VITRO</i> COLLECTION.	
BIOTECHNOLOGY METHODS IN PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION	28
<i>Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A.</i>	
MAINTENANCE OF POTATO VARIETIES IN <i>IN VITRO</i> AND FIELD COLLECTIONS OF THE RUSSIAN POTATO RESEARCH CENTER.	
BRIEF COMMUNICATIONS	42
<i>Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K., Tikhonovich I.A.</i>	
ON THE ANNIVERSARY OF LYUDMILA ANDREEVNA BESPALOVA, AN OUTSTANDING BREEDER, VICE PRESIDENT OF THE VAVILOV SOCIETY OF GENETICISTS AND BREEDERS (VOGIS), ACADEMICIAN OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (RAS).	
<i>Khlestkina E.K., Nizhnikov A.A., Tikhonovich I.A.</i>	47
BIOINFORMATICS BENEFITS FROM SIBERIA: ON THE ANNIVERSARY OF NIKOLAY ALEKSANDROVICH KOLCHANOV, ACADEMICIAN OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (RAS).	



Уважаемые читатели!

Текущий выпуск журнала посвящен рассмотрению биотехнологических подходов, примененных в исследованиях по сохранению и изучению вегетативно размножаемых культур.

Сегодня в сохранении генетических ресурсов вегетативно размножаемых культур *ex situ* огромная роль отведена созданию и развитию крио- и *in vitro* коллекций. Первые обеспечивают базовый тип хранения, вторые – активный. Как способ активного хранения генетических ресурсов, применение методики *in vitro* повышает доступность коллекционного материала для внешних пользователей и собственных исследований, а также гарантирует безопасное дублирование образцов, находящихся в базовом хранении. В выпуске представлены результаты исследования, проведенного А.М. Камневым с соавторами, в задачи которого входила криоконсервация образцов сортов малины, поступивших в ВИР в период с 1925 по 1950 год, а также мониторинг посткриогенной регенера-

ционной способности у сортов малины, ранее заложенных в криобанк ВИР. Обзорная работа о сохранении генетических ресурсов *Solanum tuberosum* L. в Федеральном исследовательском центре картофеля имени А.Г. Лорха с использованием различных типов хранения представлена Е.В. Овэс с соавторами. Особое внимание уделено созданию банка здорового посадочного материала, свободного от фитопатогенов. В статье Н.М. Зотеевой с соавторами представлены результаты маркер-ассоциированной селекции межвидовых гибридов картофеля на устойчивость к фитофторозу, Y вирусу картофеля и золотистой картофельной нематодой. Изучаемые гибриды были получены с участием образцов диких мексиканских и южноамериканских видов – источников устойчивости к фитофторозу и PVY. Среди изученного материала были выявлены носители генов устойчивости ко всем трем вредным организмам. Они могут быть использованы в дальнейших возвратных скрещиваниях с сортами картофеля с применением описанных молекулярных маркеров для направленного отбора устойчивых форм в потомстве.

Мы также рады представить в текущем выпуске статьи Вавиловского общества генетиков и селекционеров, чествующие юбиляров – академиком Людмилу Андреевну Беспалову и Николая Александровича Колчанова. Редколлегия журнала и коллектив редакции присоединяются к поздравлениям и желают двум ярким ученым, чьи юбилеи научное сообщество отмечает в этом году, крепчайшего здоровья, вдохновения и сил для того огромного труда, результаты которого имеют стратегическое значение для отечественной науки и практики!

Главный редактор,
профессор РАН
Е.К. Хлесткина

Научная статья

УДК 633.491:631.527.51:577.21

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01



Маркеры генов устойчивости к фитофторозу, Y вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоде у перспективных клонов межвидовых гибридов картофеля

Н. М. Зотеева, О. Ю. Антонова, Н. С. Клименко, Т. А. Гавриленко

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Надежда Мубаровна Зотеева, zoteyeva@rambler.ru

Актуальность. Вредные организмы, поражающие растения картофеля, наносят большой экономический ущерб во всех зонах, где выращивают эту культуру. Одним из наиболее экономически значимых патогенов является возбудитель фитофтороза картофеля (*Phytophthora infestans* Mont. (de Bary)). Также существенные потери урожая вызывают Y вирус картофеля (PVY) и золотистая картофельная нематода (ЗКН) единственного распространенного в РФ патогена Ro1. **Материалы и методы.** В фитопатологических опытах и молекулярно-генетических исследованиях изучали клоны оригинальных межвидовых гибридов, полученных в 11-ти комбинациях скрещиваний, 7 из которых изучены впервые. Гибриды получены с участием образцов диких мексиканских и южноамериканских видов – источников устойчивости к фитофторозу и PVY. Оценка полевой устойчивости к фитофторозу проводили в условиях повышенного инфекционного фона в течение трех лет, часть материала проходила оценку в лабораторных опытах. В ПЦР тестах использовали 9 ДНК-маркеров генов устойчивости к *Ph. infestans*, PVY и ЗКН (патотип Ro1), которые применяли в наших предыдущих исследованиях. **Результаты.** В полевом изучении гибридные клоны в большинстве проявляли высокую, часть из них – умеренную устойчивость к фитофторозу. У большинства клонов из комбинаций скрещиваний, изученных впервые, выявлено не менее двух, у части из них до четырех маркеров генов устойчивости к *Ph. infestans*. У ряда гибридных генотипов также выявлены маркеры генов устойчивости к PVY и ЗКН. Отобраны клоны с маркерами нескольких генов устойчивости к PVY. **Заключение.** В небольшой, но разнообразной по происхождению выборке межвидовых гибридов детектированы маркеры генов устойчивости ко всем трем вредным организмам. У части клонов, полученных с участием выделенных нами источников устойчивости к *Ph. infestans* и PVY, идентифицированы маркеры двух и более генов устойчивости к этим патогенам. Оригинальные межвидовые гибриды с определенными в данном изучении уровнями устойчивости к фитофторозу, типом цитоплазмы и маркерами генов устойчивости могут быть использованы в дальнейших возвратных скрещиваниях с сортами картофеля.

Ключевые слова: картофель, межвидовые гибриды, ДНК-маркеры, устойчивость, фитофтороз, Y вирус картофеля, золотистая картофельная нематода

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 16-16-04125 и государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции» (номер государственной регистрации ЕГИСУ НИОКР АААА–А16–116040710361–8). Авторы выражают благодарность в/с «Лаборатории устойчивости растений к болезням» А.В. Хютти (ВИЗР) за предоставление культуры *Ph. infestans*.

Для цитирования: Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Гавриленко Т.А. Маркеры генов устойчивости к фитофторозу, Y вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоде у перспективных клонов межвидовых гибридов картофеля. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):5-16. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., 2022

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01

Markers of genes for resistance to late blight, potato virus Y and potato cyst nematode identified in advanced interspecific potato hybrids

Nadezhda M. Zoteyeva, Olga Yu. Antonova, Natalja. S. Klimenko, Tatjana A. Gavrilenko

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Nadezhda Mubarovna Zoteyeva, zoteyeva@rambler.ru

Background. The harmful organisms affecting potato cause great economic damage in all areas where the crop is grown. One of the most economically important pathogens is the potato late blight (agent *Phytophthora infestans* Mont. (de Bary)). Also, *Potato Virus Y* (PVY) and potato cyst nematode (PCN) of the Ro1 pathotype, the only one that occurs in the Russian Federation, cause significant yield loss. **Materials and methods.** Phytopathological and molecular screening was carried out on original interspecific potato hybrids obtained in 11 crossing combinations, seven of which were studied for the first time. Hybrids were the result of crosses that involved Mexican and South American potato species as sources of late blight and PVY resistance. Field observations of late blight resistance were conducted during three seasons under conditions of increased infectious background. A part of plant material was screened in laboratory tests. PCR tests employed 9 DNA markers of genes associated with resistance to *Ph. infestans*, PVY and PCN of Ro1 pathotype used in our previous study. **Results.** In field evaluation, hybrid clones mostly expressed high, and part of them moderate late blight resistance. Of the 6 markers of the used *Rpi* genes, at least two were detected in most clones, while some had 3 or 4 markers. Some clones were found to have markers of PCN resistance genes and of several genes for resistance to PVY. The cytoplasm type was determined for all plant material. **Conclusions.** Within a small but pedigree-diverse set of interspecific hybrids, the markers of resistance genes to all three pests were found. A part of clones obtained by using the sources of PVY and late blight resistance which we had identified, were found to contain two or more resistance genes to these pathogens. According to the results of molecular tests, the clones were found to carry several markers of late blight and PVY resistance genes. Original interspecific potato hybrids with determined late blight resistance levels, cytoplasm type and availability of markers of genes for resistance to three pests can be used in further hybridization.

Keywords: Potato, interspecific hybrids, DNA markers, resistance, late blight, *Potato Virus Y*, potato cyst nematode

Acknowledgments: The research was supported by the Russian Science Foundation (RSF) and was performed within the frames of the VIR State Assignment in accordance with the R&D Thematic Plan, Topic No. 0481-2019-0002 “Improvement of approaches and *ex situ* methods for conservation of identified gene pool of vegetatively propagated crops and their wild relatives, development of technologies for their effective use in breeding”.

For citation: Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Gavrilenko T.A. Markers of genes for resistance to late blight, potato virus Y and potato cyst nematode identified in advanced interspecific potato hybrids. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):5-16. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer.

© Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., 2022

Введение

Картофель является одной из самых важных продовольственных культур во многих странах мира. Как и другие сельскохозяйственные культуры, он поражается грибными, вирусными, бактериальными болезнями и вредителями. Устойчивость к фитофторозу, вызываемому оомицетом *Phytophthora infestans* Mont. (de Bary), является важнейшим фактором в программах по селекции картофеля на устойчивость к болезням (Brown, Corsini, 2001). Особенно важное значение устойчивость растений к этому патогену имеет в Северо-Западном регионе РФ с его влажным и прохладным климатом, крайне благоприятным для распространения фитофтороза. Во многих других географических зонах фитофтороз также ежегодно приводит к большим потерям урожая (Fry, 2008; Rakotonindraina et al., 2012). Наиболее экономически выгодным и экологически безопасным способом контроля болезни является интрогрессия в сорта генов устойчивости от диких и культурных видов рода *Solanum* L. секции *Petota* Dumort., представленных широким разнообразием коллекционных образцов. Исходный материал для этого направления селекции может быть создан при вовлечении в гибридизацию эффективных источников устойчивости и дальнейшем отборе по этому признаку в расщепляющихся гибридных популяциях устойчивых генотипов (Jansky, Rouse, 2003). При выведении клонов картофеля, устойчивых к широкому спектру рас, предпочтительно проводить интрогрессию нескольких генов устойчивости к *Ph. infestans* (*Rpi*), так как присутствие только одного гена часто бывает не результативным (Brown-Donovan, 2020). Ожидается, что создание пирамид генов *Rpi* приведет к более эффективной защите растений от большего числа рас патогена (Jo et al., 2016).

Исходный материал для селекции также должен обладать генами, контролирующими распространение вирусных инфекций, из которых наиболее вредоносным является вирус картофеля *Y*, (Adams et al., 2004). Гены устойчивости к PVY (*Potato Virus Y*) были интрогрессированы в *Solanum tuberosum* L. от вирусоустойчивых образцов культурного вида *S. tuberosum* ssp. *andigenum* Juz. et Buk. и ряда диких видов, в том числе из устойчивых образцов мексиканского вида *S. neoantipoviczii* Buk. (= *S. stoloniferum* Schlecht.) ($2n=2x=48$) (наиболее часто использованного в качестве материнских растений), несущих ген *Rysto* (Song, Schwarzfischer, 2008). Для отбора генотипов с генами устойчивости к PVY были разработаны ДНК-маркеры ряда генов, в том числе *Ryadg* (Kasai et al., 2000); *Rysto* и *Ry-fsto* (Song, Schwarzfischer, 2008; Flis et al., 2005). Эти маркеры были выбраны нами для проведения предыдущего этапа исследования комбинаций скрещиваний с *S. neoantipoviczii* Buk. Большой ущерб урожаю картофеля также наносит и золотистая цистообразующая картофельная нематода (ЗКН). Потери от нематод в мировом производстве картофеля ежегодно оцениваются в 78 млрд долларов (Lima et al.,

2018). На территории РФ распространен только один вид – *Globodera rostohiensis* Wollenweber) Behrens и один его патотип – Ro1. В Европейских странах, где также широко распространен патотип Ro1 (Holgado, Magnusson, 2010), сорта картофеля чаще защищены геном *HI* (Shultz et al., 2012). Установлено, что 98% российских сортов защищены геном *HI* (Klimenko et al., 2017).

Применение MAS (Marker Assisted Selection) для детектирования генов устойчивости с использованием ДНК-маркеров, облегчает селекцию сортов с комплексной устойчивостью к болезням и вредителям (Goverse, Struik, 2009). Этот метод активно используется для ускорения отбора устойчивых селекционных клонов с хорошими агрономическими характеристиками (Gebhardt, 2005; Valkonen et al., 2008; Ramakrishnan et al., 2015; Chen et al., 2017; Voronkova et al., 2019; Gadjiyev et al., 2020).

Тип цитоплазмы играет важную роль в процессе межвидовой гибридизации, так как использование родительской формы со стерильным типом цитоплазмы в качестве опылителя приводит к нерезультативным скрещиваниям. Показано (Sanetomo, Gebhardt, 2012), что большинство зарубежных сортов картофеля с генами, интрогрессированными от диких мексиканских видов, имеют стерильный тип цитоплазм W/g и D-типа. Доля таких сортов в отечественном генофонде составляет 9% и 50%, соответственно (Gavrilenko et al., 2019). Часть сортов с цитоплазмой D-типа обладают мужской фертильностью, тогда как сорта с W/g типом цитоплазмы характеризуются мужской стерильностью (Gavrilenko et al., 2019). Такие сорта не могут участвовать в реципрокных скрещиваниях и используются только в качестве материнских форм (Janssen et al., 1997).

Оригинальные гибриды, полученные с участием мексиканского дикого вида *S. stoloniferum* с высокой устойчивостью к фитофторозу и трем штаммам *Y* вируса картофеля, включая наиболее вредоносный некротический штамм (PVY^{NTN}) (Zoteyeva et al., 2012), имели тип цитоплазмы W/a и фертильную пыльцу; гибриды с W/g типом цитоплазмы были стерильны (Zoteyeva et al., 2017).

Настоящая работа является продолжением исследований оригинальных межвидовых гибридов (Zoteyeva et al., 2017; Zoteyeva et al., 2019; Zoteyeva et al., 2020), в популяциях которых был проведен отбор перспективных генотипов, устойчивых к фитофторозу, *Y* вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоде патотипа Ro1.

В статье представлены результаты оценки устойчивости к фитофторозу на естественном инфекционном фоне, полученные в период с 2017 по 2019 год. Параллельно с фитопатологической оценкой проводили молекулярный скрининг еще не изученных гибридных клонов от комбинаций скрещиваний, исследованных в работе Zoteyeva с соавторами (Zoteyeva et al., 2017), а также клонов, полученных в результате новых комбинаций скрещиваний. В данной работе использовали те же ДНК-маркеры, что предоставило возможность объединения и сопоставления данных, полученных в обоих исследованиях.

Цель настоящей работы – исследовать на естественном инфекционном фоне оригинальные межвидовые гибриды картофеля в отношении устойчивости к фитофторозу, охарактеризовать различные межвидовые комбинации скрещиваний с помощью методов ДНК-маркирования и выявить генотипы с комплексом маркеров генов устойчивости к фитофторозу, PVY и ЗКН.

Материал и методы

Материал и место проведения опытов. Исследования проводили в отделе генетики и в отделе биотехнологии Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР). Полевую оценку устойчивости к фитофторозу осуществляли в период с 2017 по 2019 год на экспериментальном поле «Пушкинских и Павловских лабораторий ВИР» (Санкт Петербург – Пушкин). Местная популяция *Ph. infestans* ежегодно вызывает сильное поражение большинства сортов картофеля из коллекции ВИР. По нашим наблюдениям, эпифитотии *Ph. infestans* здесь случаются приблизительно каждые три года.

Оригинальные межвидовые гибриды, полученные в простых и многоступенчатых скрещиваниях с дикими и культурными видами картофеля, оценены нами по устойчивости к фитофторозу и PVY. Высокая устойчивость к фитофторозу была найдена у образцов мексиканских видов *Solanum guerreroense* Corr. ($2n=6x=72$) (gr) и *S. neoantipoviczii* (nan) (Zoteyeva et al., 2012). Помимо мексиканских видов, в скрещиваниях были использованы образцы ряда видов южноамериканских: *S. bertaultii* Hawk., *S. microdontum* Bitt., *S. ruiz-ceballosii* Card., *S. tarijense* Hawk., также охарактеризованные по устойчивости к фитофторозу (Zoteyeva et al., 2012). В скрещиваниях участвовали образцы культурных видов *S. tuberosum* ssp. *andigenum* Juz. et Buk., *S. phureja* Juz. et Buk., селекционные клоны культурного типа *S. tuberosum* из коллекции Шведского Университета Агрономических Исследований (SLU) SW93-1015, SW-0909005, SW-0906512, отечественный сорт ‘Аврора’ и зарубежные сорта ‘Superb’ и ‘Sargo Mira’. Один из селекционных клонов – SW93-1015 – характеризуется высокой устойчивостью к фитофторозу конституционального типа (механизм защиты активен у интактных растений) (Ali et al., 2012). У него идентифицирован ген устойчивости к фитофторозу *R2-like* (Lenman et al., 2016).

Нами проведена оценка 17 гибридных клонов, полученных в 11-ти комбинациях скрещиваний. Начало изучению четырех из 11 комбинаций было положено ранее (Zoteyeva et al., 2017). В данную работу были включены еще не изученные гибридные генотипы, полученные в результате тех же четырех комбинаций скрещиваний. Семь комбинаций скрещиваний изучены впервые. Все гибриды

были распределены между пятью группами (I – V) в соответствии с материнскими родительскими формами.

Оценка устойчивости к фитофторозу. Фитофтороустойчивость клонов оценивали в трехлетнем полевом изучении; сеянцы из популяций родительского образца *S. guerreroense* (ВИР к-18407) и гибрида между *S. neoantipoviczii* ВИРк-8505 и *S. phureja* phuRlt-5 – при искусственном заражении отделенных листьев (Приложение 1 / Supplement 1¹).

Полевую оценку устойчивости к фитофторозу на естественном инфекционном фоне в период с 2017 по 2019 год осуществляли каждые 5 дней с начала появления инфекции *Ph. infestans* на неустойчивых сортах ‘Desirée’ и ‘Dorisa’ (положительный контроль) по методике, описанной в Широком унифицированном классификаторе СЭВ (Bukasov et al., 1977). Использовали шкалу оценки от 9 (отсутствие симптомов болезни) до 1 (целиком пораженное растение).

Устойчивость к фитофторозу при искусственном заражении оценивали в двух независимых опытах при инокулировании трех отделенных долей листьев каждого растения в двух повторностях (Brylińska, Śliwka, 2017). Для заражения использовали агрессивный изолят *Ph. infestans* VZR18 с 8-ю генами вирулентности – 1.2.3.4.6.7.10.11. Вирулентность изолята определяли с использованием растений-дифференциаторов (Black et al., 1953). Использовали инокулюм с концентрацией 50 тыс. зооспор/мл. Листья инокулировали в условиях повышенной влажности при температуре 17°C. На 7-е сутки после заражения оценивали симптомы болезни, используя шкалу 1-9 баллов, где 9 – устойчивость. При оценке устойчивости растений к фитофторозу в поле и в лабораторных опытах в качестве отрицательного и положительного контролей использовали сорт ‘Aluette’, характеризующийся высоким уровнем устойчивости ботвы к фитофторозу, и чувствительные сорта ‘Desirée’ и ‘Dorisa’, соответственно. **Молекулярный скрининг** проведен с использованием маркеров генов устойчивости к *Ph. infestans* – *R1*, *R2-like*, *R3a*, *Rpi-blb1*, PVY - *Rysto*, *Ry-fsto*, *Ryadg* и золотистой картофельной нематоды патотипа Ro1 – *H1* (табл. 1), которые были выявлены у ряда родительских форм в наших предыдущих исследованиях (Zoteyeva et al., 2017, Zoteyeva et al., 2020). В данной работе генотипировали гибридные клоны из 11-ти комбинаций скрещиваний, результаты представлены в таблице 2. ДНК выделяли из листьев полевых растений с использованием модифицированного нами СТАВ-метода (Gavrilenko et al., 2013). Праймеры для выявления маркеров генов устойчивости к PVY, фитофторозу и золотистой картофельной нематоды были отобраны по литературным источникам (см. табл. 1).

Тип цитоплазмы у гибридов определяли с использованием набора маркеров (Hosaka, Sanetomo, 2012), специфичных к различным участкам пластидной и митохон-

¹ Приложение доступно в онлайн версии статьи / Supplement is available in the online version of the paper at: <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-1-01>

дриальной ДНК.

ПЦР проводили в 20 мкл реакционной смеси, содержащей 10 нг геномной ДНК, 1× реакционный буфер («Диалат Лтд», Россия), 2,5 mM MgCl₂, 0,4 mM каждого из dNTPs, по 0,2 мкМ прямого и обратного праймеров и 1 ед. Taq ДНК-полимеразы («Диалат Лтд», Россия). В случае праймеров ALM4/ALM5 концентрацию dNTPs увеличивали до 0,6 mM. Реакцию осуществляли в амплификаторе Mastercycler® Nexus Gradient («Eppendorf», Германия) при температурах отжига, соответствующих указанным в литературе. Для всех маркеров, кроме CAPS,

ПЦР повторяли не менее трех раз, для праймеров ALM4/ALM5 — не менее 5 раз.

Рестриктию проводили в 30 мкл реакционной смеси согласно протоколам фирмы-производителя (НПО «СибЭнзим», Россия; <http://russia.sibenzyme.com>). Электрофоретическое разделение осуществляли в буфере TBE в 2 % агарозном геле с последующей окраской бромистым этидием и визуализацией в УФ-свете. Стандартом служил маркер молекулярной массы 100 bp + 1500 bp + 3000 bp (НПО «СибЭнзим», Россия).

Таблица 1. ДНК-маркеры, ассоциированные с R генами устойчивости к патогенам, использованные в молекулярном скрининге

Table 1. DNA markers associated with R genes for resistance to pathogens and used in molecular screening

Ген/ Gene	Хромосома/ Chromosome	Маркер/ Marker	Ссылка/ Reference
Маркеры генов устойчивости к фитофторозу			
<i>R 1</i>	V	R1 -1250	Sokolova et al., 2011
<i>R2-like</i>	IV	R2area ½	Lenman et al., 2016
<i>R3a</i>	XI	RT-R3a	Huang et al., 2005
<i>Rpi-blb1</i>	VIII	BLB1F/R -	Wang et al., 2008
<i>Rpi-sto1</i>	VIII	Rpi-sto1	Zhu et al., 2012
Маркеры генов устойчивости к Y вирусу картофеля			
<i>Ry-fsto</i>	XII	GP122-406/EcoRV	Flis et al., 2005
<i>Rysto</i>		YES3-3A	Song, Schwarzfischer, 2008
<i>Ryadg</i>	XI	RYSC3	Kasai et al., 2000
Маркер гена устойчивости к нематоду (патотип Ro1)			
<i>H1</i>	V	57 R	Schultz et al., 2012

Результаты и обсуждение

Оценка устойчивости к фитофторозу в фитопатологических опытах.

Результаты оценки устойчивости к фитофторозу представлены в таблице 2 и в Приложении 1 / Supplement 1¹. Растения восприимчивых к *Ph. infestans* контрольных сортов ‘Desirée’ и ‘Dorisa’ сильно поражались в конце июля 2017 года и в первых декадах августа сезонов 2018 и 2019 годов, которые характеризовались повышенным инфекционным фоном. В эти же годы на растениях устойчивого сорта ‘Aluette’ симптомов болезни не было отмечено до конца периода вегетации. Ежегодно первые симптомы *Ph. infestans* появлялись на растениях гибрида ‘Аврора’ × *phi* спустя две-три недели после возникновения очагов болезни на ботве неустойчивого контрольного сорта ‘Dorisa’. До конца периодов вегетации в 2017-2019 годах высокую устойчивость сохраняли оба клона гибрида (*grt* × ‘Superb’) × ‘Sargo Mira’, которую оценивали сред-

ними за три года баллами 7,0 и 7,7 (табл. 2). Такой же уровень устойчивости в течение долгого периода полевых наблюдений, включая период с 2017 по 2019 год, был отмечен и у клонов гибрида SW93-1015 × *adg* под номерами 8-1 – 8-3 в группе IV (см. табл.2) и у клона [nz2010-10nb × (*grt* × ‘Superb’)] × SW-0909005 (группа III, № 6, см. табл.2).

Близким уровнем устойчивости характеризовался гибрид {[(*grt* × ‘Superb’) × nz2010-10nb]} × [nan × (*mcd* × *tar*)] × (*grt* × *adg*)] × SW-0906512 (группа II, № 3) со средним баллом устойчивости 6,9.

Несколько уступал им по устойчивости клон гибрида [nan × (*mcd* × *tar*)] × (*grt* × *adg*)-4 (группа I, № 2) и клоны из его потомства, полученного от скрещиваний с SW93-1015 × *adg* (группа IV, № № 9-1 и 9-2) и с сортом ‘Sargo Mira’ (группа I, № № 1-1 и 1-2). Сравнение устойчивости клонов из разных гибридных комбинаций с участием сорта ‘Sargo Mira’ показало, что такие гибриды из комбинаций скрещиваний с участием *S. guerreroense* значительно превосходили по устойчивости гибриды, по-

лученные в комбинациях с *S. neoantipoviczii* (см. табл. 2). Клон гибрида SW93-1015 × ber (группа IV, № 7) проявлял умеренную устойчивость (средний балл 6,0) и продолжительный период до появления симптомов *Ph. infestans*. Такой же уровень устойчивости отмечен у клона гибрида nz2010-10nb × (grr × 'Superb')-2 (группа III, № 5) со средним баллом устойчивости 5,9. Наиболее слабая устойчивость отмечена у растений гибрида, полученного от скрещивания сорта 'Аврора' с *S. phureja*, которые поражались фитофторозом раньше других опытных клонов. Это может быть обусловлено ранними сроками его созревания, что часто сопровождается чувствительностью ботвы к фитофторозу (Visker, 2005). Клоны из расщепляющейся популяции гибрида 'Аврора' с боливийским устойчивым образцом *S. ruiz-ceballosii* (группа V, № 11-1 и 11-2) проявляли умеренную полевую устойчивость к фитофторозу и характеризовались длительным периодом инкубации *Ph. infestans*, несмотря на то, что родительский клон образца к-7370 *S. ruiz-ceballosii* характеризовался высокой

устойчивостью к *Ph. infestans* (Zoteyeva et al., 2012).

В лабораторных опытах высокая устойчивость к фитофторозу выявлена у всех семянцев из популяции гибрида *S. neoantipoviczii* × *S. phureja* (nan × phu) и из популяции родительского образца *S. guerreroense* (см. Приложение 1/ Supplement 1¹). Растения образца к-18407 *S. guerreroense* обладают исключительно высокой устойчивостью к *Ph. infestans*. Этот образец часто используется нами в лабораторных опытах в качестве устойчивого контроля (рисунок). Реакция стандартных сортов была соответствующей степени их устойчивости к *Ph. infestans*. Так, листья неустойчивого контрольного сорта 'Dorisa' полностью поражались на 5-е сутки после инокуляции, в то время как на листьях устойчивого сорта 'Aluette' симптомы болезни отсутствовали (см. Приложение 1/ Supplement 1¹). В лабораторных опытах высокая устойчивость к фитофторозу выявлена также у 11-ти семянцев гибрида *S. neoantipoviczii* × *S. phureja* (nan × phu) (см. Приложение 1/ Supplement 1¹).

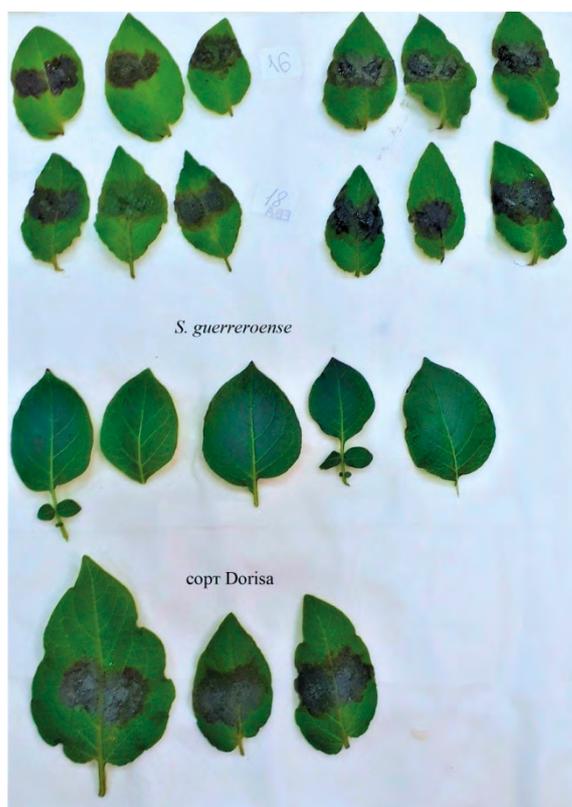


Рисунок. Оценка устойчивости к фитофторозу методом инокулирования *Ph. infestans* отделенных долей листьев образцов картофеля

1 и 2 ряд – опытный образец, 3 ряд – образец к-18407 *S. guerreroense* – отрицательный (устойчивый) контроль, 4 ряд - сорт 'Dorisa' – положительный (чувствительный) контроль.

Figure. Assessment of resistance to late blight using the method of detached leaflet assay

Rows 1 and 2 – tested accession, row 3 – accession k-18407 of *S. guerreroense* – negative (resistant) control, row 4 – variety 'Dorisa' – positive (susceptible) control.

Образец к-8505 *S. neoantipoviczii*, идентифицирован тип цитоплазмы W/a, ассоциированный с фертильностью пыльцы у его гибридных потомств. У гибридов с *S. neoantipoviczii* из группы I выявлено по несколько маркеров генов *Rpi*, использованных в данной работе (см. табл. 2). У двух отобранных клонов из первые изученной комбинации скрещивания $\{[\text{nan} \times (\text{mcd} \times \text{tar})] \times (\text{grt} \times \text{adg})\}$ с сортом 'Sarpö Mira' (№ № 1-1, 1-2, см. табл. 2) отсутствовал маркер гена *R2-like*, часто встречаемый у гибридов с *S. neoantipoviczii*, у обоих выявлен маркер гена *R3a*. У обоих клонов присутствуют маркеры гена *Rysto* устойчивости к PVY, специфичного для *S. neoantipoviczii*. Наличие маркеров генов *R2-like* и *Rpi-blb1* устойчивости к фитофторозу выявлено у впервые изученного клона под № 2 из группы I – $\{[\text{nan} \times (\text{mcd} \times \text{tar})] \times (\text{grt} \times \text{adg})\}$ -4. У этого клона, полученного в скрещивании с участием *S. tuberosum* ssp. *andigenum*, детектирован редко встречаемый в целой выборке гибридов маркер гена *Ryadg* устойчивости к PVY.

Гибриды с *S. guerreroense* (группа II, см. табл. 2). В данном исследовании в популяции семян образца *S. guerreroense* к-18407 были определены два типа цитоплазмы - W/a и W/g (см. Приложение 1 / Supplement 1). В результате межвидовой гибридизации с этим образцом, использованным в качестве материнской формы, были получены оригинальные фертильные гибриды с сортом 'Superb' и образцом *S. tuberosum* ssp. *andigenum* к-8077, которые были затем включены в дальнейшую гибридизацию. У устойчивого к фитофторозу образца *S. guerreroense* предполагалось наличие генов *R1* и *R3a* от *S. demissum* Lindl. в связи с родством этих видов. Однако результаты молекулярного скрининга показали отсутствие маркера гена *R1* у всех растений из популяции этого образца и очень редкую встречаемость (у 1 из 20-ти изученных семян) маркера гена *R3a* (Zoteyeva et al., 2014). В настоящей работе выявлено наличие маркера гена *R2-like* и отсутствие маркера гена *Rpi-blb1* у всех 10-ти устойчивых семян этого образца, не проявлявших симптомов болезни при искусственном заражении *Ph. infestans* с применением высокой инфекционной нагрузки. Можно полагать, что устойчивость к фитофторозу образца *S. guerreroense* к-18407 не связана с функциональным аллелем гена *Rpi-blb1*.

В изучение были включены 5 клонов из разных гибридных комбинаций, полученных в скрещиваниях с образцом *S. guerreroense*. У многовидовых гибридов, имевших в своем составе *S. guerreroense*, был выявлен маркер гена *Rpi-blb1*. Поскольку такие гибриды помимо генетического материала *S. guerreroense* включали клон nz2010-10nb, а также сорт 'Superb', в составе которых ожидаем ген *Rpi-blb*, можно полагать, что гибридам группы II маркер данного гена был передан от одной из этих форм. У гибридных клонов, полученных с участием устойчивого образца *S. guerreroense*, детектированы маркеры 4-х генов устойчивости к фитофторозу

(*R2 – like*, *R3a*, *Rpi –stol* и *Rpi-blb1*) и трех – к PVY (*Rysto*, *Ry-f_{sto}* и *Ryadg*). Наиболее высокую устойчивость проявлял клон с одновременным присутствием маркеров генов *R2-like* и *R3a*. В настоящей работе у гибрида $\{[(\text{grt} \times \text{'Superb'} \times \text{nz2010-10nb})] \times [\text{nan} \times (\text{mcd} \times \text{tar})] \times (\text{grt} \times \text{adg})\}$ × SW-0906512 (группа II, клон № 3) детектированы маркеры генов устойчивости к фитофторозу *R3a*, *Rpi-blb1*, *Rpi –stol*, но не обнаружены маркеры генов устойчивости к PVY, в то время как у ранее оцененных клонов выявлены все использованные маркеры этих генов – *Rysto*, *Ry-f_{sto}* и *Ryadg*.

Недавно, на обширном материале (188 образцов картофеля), впервые было доказано присутствие последовательностей генов-ортологов *RB/Rpi-blb1 = Rpi-stol-like* у сортов и селекционных клонов, происходящих от *S. stoloniferum* (Gavrilenko et al., 2018; Antonova et al., 2018). Встречаемость этих маркеров также отмечена у гибридных клонов, полученных с участием nz2010-10nb и клона SW93-1015 (см. табл. 2).

Гибриды, полученные на основе клона nz2010-10nb (группа III, см. табл. 2). Оба исследованных гибрида этой группы обладают типом цитоплазмы W/g. Они различаются по составу маркеров генов устойчивости. У гибридного клона nz2010-10nb × (grt × 'Superb')-2 (№ 5) выявлены маркеры генов устойчивости к фитофторозу – *Rpi-blb1* и *Rpi-stol*, а также к PVY – *Rysto* и *Ry-f_{sto}*. У более устойчивого к фитофторозу гибридного клона [nz2010-10nb × (grt × 'Superb')] × SW-0909005 (№ 6) выявлены маркеры генов *R2-like*, *R3a* и *Rpi-blb1* устойчивости к фитофторозу, а также маркер 57R гена *H1* устойчивости к ЗКН.

Гибриды, полученные с участием клона SW93-1015 (группа IV, см. табл. 2). В предыдущих исследованиях было показано, что гибриды, полученные от скрещивания клона SW93-1015, использованного в качестве материнского растения (♀), обладают типом цитоплазмы W/g и стерильной пылью тетрадного типа (Zoteyeva et al., 2017).

У всех гибридных клонов, полученных с участием SW93-1015, использованного в качестве материнской формы, также идентифицирован тип цитоплазмы W/g (см. табл. 2).

У клонов простых гибридов SW93-1015 с *S. tuberosum* ssp. *andigenum* и *S. bertaultii* (группа IV, см. табл. 2) детектирован маркер гена *R3a*. Расщепление по наличию этого маркера наблюдали у сложного гибрида (SW93-1015 × adg) × {nan × (mcd × tar)} × (grt × adg). Маркер гена *R2-like* выявлен в двух комбинациях скрещиваний с SW93-1015 (группа IV, клоны № № 8-1 и 9-1). Среди клонов из этой группы маркер гена *Rpi-blb1* найден только у наиболее устойчивого гибридного клона из комбинации скрещиваний SW93-1015 с образцом *S. tuberosum* ssp. *andigenum* – SW93-1015 × adg-27 (№ 8-3), у которого, помимо него, выявлены маркеры генов *Rpi-R3a* и *Rpi-*

stol, а также генов устойчивости к PVY (*Rysto* и *Ry-f_{sto}*). Маркер 57R гена *H1* устойчивости к ЗКН, найденный ранее у родительского клона SW93-1015 (Zoteyeva et al., 2017), у данного гибрида отсутствовал, в то время как у двух других клонов (№ № 8-1 и 8-2) такой комбинации он выявлен.

У гибридного клона SW 93-1015 × *S. berthaultii* (SW 93-1015 × ber) с умеренной полевой устойчивостью к *Ph. infestans* маркеры гена *R2-like* и генов устойчивости к PVY и к ЗКН выявлены не были; у него обнаружен только маркер гена *R3a* устойчивости к фитофторозу (см. табл. 2).

Умеренно устойчивые к фитофторозу, ранее не исследованные клоны, отобранные из расщепляющейся популяции гибрида [(SW93-1015 × adg)] × {[nan × (mcd × tar)] × (grt × adg)}, различались по составу маркеров генов устойчивости. У них детектировано только по одному из пяти использованных маркеров генов устойчивости к фитофторозу – *R2-like* у клона № 9-1 и *R3a* у клона № 9-2. Только у одного из них (№ 9-2) обнаружены маркеры генов *Rysto* и *Ry-f_{sto}* устойчивости к PVY.

Гибриды из группы V, полученные с участием образцов южноамериканских видов картофеля и сорта ‘Аврора’. Гибриды этой группы имеют тип цитоплазмыТ/β, ранее определенный у сорта ‘Аврора’ (Gavrilenko et al., 2019).

В сравнении с гибридами, полученными в скрещиваниях с образцами мексиканских видов и их производных (группы I – IV), гибриды из группы V, полученные с участием южноамериканских видов, характеризовались более слабой устойчивостью к фитофторозу. В этой группе у гибрида ‘Аврора’ × *S. phureja* выявлено наличие маркера гена *R2-like*.

Устойчивость этого раннеспелого гибрида не была высокой и варьировала в зависимости от условий полевого сезона. У него детектированы редко встречающиеся в совокупной выборке гибридов маркеры генов *Ryadg* устойчивости к PVY и гена *H1* устойчивости к ЗКН (см. табл. 2).

У гибридных клонов комбинации ‘Аврора’ × *S. ruiz-ceballosii* с близкими показателями умеренной устойчивости к фитофторозу детектированы маркеры генов *R2-like*, *Rpi-stol* и *Rpi-blb1*. Маркер гена *Rpi-blb1* ранее был идентифицирован у сорта ‘Аврора’ (Antonova

et al., 2018), у которого в последние годы мы наблюдали довольно слабую устойчивость к фитофторозу. Эти данные могут указывать на отсутствие функционального аллеля гена *Rpi-blb1* у сорта ‘Аврора’. Для растений гибрида ‘Аврора’ × *S. ruiz-ceballosii* при выращивании в поле в условиях повышенного инфекционного фона характерен длительный период инкубации инфекции *Ph. infestans*, который может быть обеспечен геном *Rpi-rzc*, специфичным для *S. ruiz-ceballosii* (Śliwka et al., 2012). У всех клонов из этой группы отмечено отсутствие маркеров генов *Rysto* и *Ry-f_{sto}* устойчивости к PVY.

Как в настоящем, так и в предыдущем исследовании, при изучении высоко устойчивых к фитофторозу гибридных генотипов (grt × ‘Superb’) × ‘Sargo Mira’ были детектированы маркеры генов *R2-like* и *R3a*.

У клона № 4-2 в этой гибридной комбинации найдены все три маркера генов устойчивости к PVY. В данной работе клоны этой гибридной комбинации различались наличием/отсутствием маркеров генов *R3a*, *Rpi-stol* и *Rpi-blb1*. Высокая устойчивость к фитофторозу у гибрида может также контролироваться локусом, наследуемым от сорта ‘Sargo Mira’. У гибрида (grt × ‘Superb’) × ‘Sargo Mira’ детектирован редко встречающийся маркер гена *Ryadg*. Ввиду того, что маркер этого гена не был найден у других гибридов, где родителем был ‘grt × Superb’, можно с большой вероятностью предположить, что он передан гибриднему потомству от сорта ‘Sargo Mira’.

У одного из гибридных клонов комбинации (grt × ‘Superb’) × ‘Sargo Mira’ детектированы маркеры генов *Rysto* и *Ry-f_{sto}*, отсутствовавшие у клонов, проходивших оценку ранее, что расширяет информацию о селекционной ценности этого гибрида.

Сопоставляя данные о наличии у гибридных растений маркеров генов устойчивости к фитофторозу с уровнем их полевой устойчивости, можно отметить, что из 6 клонов с устойчивостью, оцениваемой баллами 7,0 и выше (высокая устойчивость), маркер гена *R2-like* выявлен у четырех. У двух других гибридных генотипов присутствует маркер гена *R3a*, а у наиболее устойчивого из всей выборки клона – также маркеры генов *Rpi-blb1* и *Rpi-stol*. Устойчивость клонов под № № 2, 9-1, 10 и 11-1 (см. табл. 2), у которых выявлен маркер гена *R2-like* и отсутствовали маркеры генов *R3a*, *Rpi-blb1* и *Rpi-stol*, была только умеренной.

Таблица 2. Результаты молекулярного скрининга гибридов картофеля на наличие маркеров генов устойчивости к патогенам и типов цитоплазмы, а также данные фенотипирования по устойчивости к фитофторозу

Table 2. Results of molecular screening of interspecific potato hybrids for the pathogen resistance markers and cytoplasm types as well as of phenotyping for late blight resistance

Группа (I-IV), № № клонов/ Group (I-V), clone Nos.	КОД гибрида# Hybrid code No.	R2-like	R3a	Rpi st	Rpi ^{hbl}	Ry st	Ry ^{fs}	Ry ^{adg}	HI	Тип цитоплазмы/ Cytoplasm type	Устойчивость к фитофторозу, средний балл (полевая оценка), год изучения/ Late blight resistance, average point (field assessment), year of study			
											2017	2018	2019	средний за 3 года
Гибриды с <i>Solanum neoantipoviczii</i> (♀)														
I														
1-1	{[nan × (mcd × tar)] × (grr × adg)} × 'Sarpō Mira-1'*	0	1	0	0	1	0	0	0	W/a	6,0	6,8	7,0	6,6
1-2	{[nan × (mcd × tar)] × (grr × adg)} × 'Sarpō Mira-2'	0	1	0	0	1	0	0	0	W/a	6,3	6,5	6,5	6,4
2	{[nan × (mcd × tar)] × (grr × adg)}-4	1	0	1	1	1	1	0	0	W/a	6,0	6,0	7,0	6,3
Гибриды с <i>S. guerreroense</i> (♀)														
3	{[(grr × 'Superb' × nz2010-10nb)] × [nan × (mcd × tar)] × (grr × adg)} × SW-0906512	0	1	1	1	0	0	0	0	W/a	6,8	6,8	7,0	6,9
4-1	(grr × 'Superb') × 'Sarpō Mira'	1	1	0	0	0	0	0	0	W/a	7	8	8	7,7
4-2	(grr × 'Superb') × 'Sarpō Mira'	1	0	1	1	1	1	1	0	W/a	7	7	7	7,0
Гибриды с клоном nz2010-10nb (♀)														
5	nz2010-10nb × (grr × 'Superb')-2*	0	0	1	1	1	1	0	0	W/y	5,8	6,0	6,0	5,9
6	[nz2010-10nb × (grr × 'Superb')] × SW-0909005*	1	1	0	1	1	1	0	1	W/y	7,2	7,0	7,5	7,2
Гибриды с клоном SW93-1015 × adg (♀)														
7	SW93-1015 × ber*	0	1	0	0	0	0	0	0	W/y	5,8	6,0	6,2	6,0
8-1	SW93-1015 × adg-4*	1	1	0	0	0	0	0	1	W/y	7,0	7,0	7,0	7,0
8-2	SW93-1015 × adg -16	0	1	0	0	0	0	0	1	W/y	7,0	7,4	8,0	7,5
8-3	SW93-1015 × adg -27	0	1	1	1	1	1	0	0	W/y	7,0	8,0	8,0	7,7
9-1	[(SW93-1015 × adg)] × {[nan × (mcd × tar)] × (grr × adg)}-21	1	0	0	0	0	0	0	0	W/y	6,3	6,2	6,5	6,3
9-2	[(SW93-1015 × adg)] × {[nan × (mcd × tar)] × (grr × adg)}-22	0	1	0	0	1	1	0	0	W/y	6,0	6,0	6,5	6,2
Гибриды с южноамериканскими видами (♂)														
V														
10	сорг. 'Аврора' (AU) × <i>S. phureja</i> *	1	0	1	1	0	0	1	0	T/β	5,0	5,5	5,0	5,2
11-1	сорг. 'Аврора' × rzc -35*	1	0	1	0	0	0	0	0	T/β	5,5	6,0	6,0	5,8
11-2	сорг. 'Аврора' × rzc -36	0	0	0	0	0	0	0	0	T/β	5,6	6,0	5,5	5,7

#) Аббревиатура видов картофеля / abbreviated names of potato species: ber = *S. bertautilii*, grr = *S. guerreroense*, nan = *S. neoantipoviczii*,

mcd = *S. microdonum*, tar = *S. tarijense*, rzc = *S. ruiz-ceballosii*, adg = *S. tuberosum* ssp. *andigenum*, phu = *S. phureja*

*) комбинации скрещиваний, изученные впервые / crossing combinations tested for the first time

***) HT - не тестирован / HT - not tested

Маркер гена *R3a* встречался у 5-ти из 6-ти высокоустойчивых клонов из трех разных групп гибридов (II, III и IV). У клона № 8-2 (группа IV) из всех использованных маркеров *Rpi* генов выявлен маркер только одного гена – *R3a*, при этом, клон проявлял высокую устойчивость к фитофторозу в течение всего периода изучения (средний балл устойчивости 7,5) (см. табл. 2). Маркер гена *R3a* отсутствовал в группе гибридов сорта ‘Аврора’ с южноамериканскими видами с наиболее низким уровнем устойчивости к фитофторозу.

Суммируя полученные данные можно заключить, что высокая устойчивость к фитофторозу однозначно не связана с наличием какого-либо одного *Rpi*-гена. Однако можно отметить, что у более устойчивых клонов, в сравнении с менее устойчивыми, чаще отмечали наличие маркеров генов *R3a* и *R2-like*. Тем самым нами подтверждено, что при гибридизации необходимо проведение фитопатологической оценки, которая более объективно характеризует устойчивость родительских растений.

Современные направления в селекции сельскохозяйственных культур предусматривают создание исходного материала с устойчивостью к комплексу вредных организмов. Из-за способности *Ph. infestans* к быстрой адаптации, интрогрессированные гены *Rpi* перестают быть эффективными, а наличие только одного гена, часто не бывает результативным (Zhu et al., 2012). Для увеличения срока способности противостоять инфекции важно объединение в одном генотипе картофеля нескольких генов устойчивости к определенному патогену. Желательно, чтобы они принадлежали к разным кластерам генов и различались специфичностью распознавания возбудителя (Zhu et al., 2012). Молекулярный скрининг оригинальных межвидовых гибридов, полученных в разных комбинациях скрещиваний с видами секции *Petota* рода *Solanum*, позволил выявить генотипы с комплексом маркеров генов устойчивости к изученным вредным организмам.

Заключение

Оригинальные гибридные клоны, полученные с участием устойчивых к фитофторозу образцов мексиканских видов *S. guerreroense* и *S. neoantipoviczii* и селекционного клона SW93-1015, проявили высокую устойчивость к патогену в полевом изучении. В результате проведенного исследования, в относительно небольшой, но генетически разнообразной группе гибридов, выявлено наличие маркеров генов устойчивости к фитофторозу и двум другим экономически важным патогенам – *Y* вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоды. Для части гибридных клонов характерно наличие более чем одного маркера генов устойчивости к *Ph. infestans*, а нередко трех – четырех. В данной выборке гибридов детектированы все три использованные в исследовании маркера генов устойчивости к PVY. Этот растительный материал может быть использован при создании селекционных

клонов с комплексом генов устойчивости к вредным организмам.

С привлечением в исследования новых генотипов подтверждено наличие типа цитоплазмы W/a у гибридов полученных с участием *S. neoantipoviczii*. У образца к-18407 *S. guerreroense* выявлен тип цитоплазмы W/alpha+beta. Гибриды с клоном SW93-1015 обладают стерильным типом цитоплазмы W/g. Информация о типах цитоплазмы может быть полезной при проведении дальнейших скрещиваний и в процессе подбора родительских пар.

References/Литература

- Adams M.J., Antoniw J.F., Bar-Joseph M., Brunt A.A., Candresse T., Foster G.D., Martelli G.P., Milne R.G., Fauquet C.M. The new plant virus family Flexiviridae and assessment of molecular criteria for species demarcation. *Archives of virology*. 2004;149(5):1045-1060. DOI: 10.1007/s00705-003-0304-0
- Antonova O.Y., Klimenko N.S., Evdokimova Z.Z., Kostina L.I., Gavrilenko T.A. Finding *RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1*-like sequences in conventionally bred potato varieties. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):693-702. DOI: 10.18699/VJ18.412
- Black W., Mastenbroek C., Mills W.R., Peterson L.C. A proposal for an international nomenclature of races of *Phytophthora infestans* and of genes controlling immunity in *Solanum demissum* derivatives. *Euphytica*. 1953;2:173-179. DOI: 10.1007/BF00053724
- Brown C., Corsini D. Genetics and breeding of virus resistance: traditional methods. In: G. Loebenstein, P. Berger, A.A. Brunt, R.H. Lawson (eds). *Virus and virus-like diseases of potatoes and production of seed potatoes*. Springer, Dordrecht; 2001. p.323-340. DOI: 10.1007/978-94-007-0842-6_26
- Brown-Donovan K.M. Pyramiding approaches for potato disease resistance breeding [dissertation]. University of Maine; 2020. Available from: <https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/3286> [accessed Nov. 13, 2021].
- Brylińska M., Śliwka J. Laboratory assessment of potato resistance to *Phytophthora infestans*. *Plant Breeding and Seed Science*. 2017;76:17-23. DOI: 10.1515/plass-2017-00016
- Bukasov S.M., Kameraz A.Y.A., Lekhnovich V.S., Kornejchuk V.A., Kostina L.I. A comprehensive unified COMECON list of descriptors and the international COMECON list of descriptors for potato species of the *Tuberarium* (Dun.) Buk. section of the genus *Solanum* L. (Shirokij unifikirovannyj klassifikator SEV i mezhdunarodnyj klassifikator SEV vidov kartofelya seksii *Tuberarium* (Dun.) Buk. roda *Solanum* L). Leningrad: All-Russian Research Institute of Plant Industry (VIR);1977. [in Russian] (Букасов С.М., Камераз А.Я., Лехнович В.С., Корнейчук В.А., Костина Л.И. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Ленинград: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР); 1977).
- Chen S.H., Borza T., Byun B., Coffin R., Coffin J., Peters R., Wang-Pruski G. DNA markers for selection of late blight resistant potato breeding lines. *American Journal of Plant Science*. 2017;8:1197-1209. DOI: 10.4236/ajps.2017.86079
- Flis B., Hennig J., Strzelczyk-Zyta D., Gebhardt C., Marczewski W. The *Ry-f_{sto}* gene from *Solanum stoloniferum* for extreme resistant to *Potato virus Y* maps to potato chromosome XII and is diagnosed by PCR marker GP122₇₁₈ in PVY resistant potato cultivars. *Molecular Breeding*. 2005;15:95-101. DOI: 10.1007/s11032-004-2736-3
- Fry W. *Phytophthora infestans*: the plant (and *R* gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*. 2008;9(3):385-402. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x
- Gadjiev N.M., Lebedeva V.A., Rybakov D.A., Ivanov A.V., Zheltova V.V., Fomina N.A., Antonova O.Yu., Gavrilenko T.A. On using data from marker-assisted selection of source material and intervarietal hybrids in practical pota-

- to breeding. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2020;55(5):981-994. [in Russian] (Гаджиев Н.М., Лебедева В.А., Рыбаков Д.А., Иванов А.В., Желтова В.В., Фомина Н.А., Антонова О.Ю., Гавриленко Т.А. Использование в практической селекции картофеля результатов ДНК-маркирования исходных родительских форм и межсортовых гибридов. *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(5):981-994). DOI: 10.15389/agrobiology.2020.5.981rus
- Gavrilenko T., Antonova O., Shuvalova A., Krylova E., Alpatyeva N., Spooner D.M., Novikova L. Genetic diversity and origin of cultivated potatoes based on plastid microsatellite polymorphism. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2013;60(7):1997-2015. DOI: 10.1007/s10722-013-9968-1
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Gadjiyev N.M., Apalikova O.V., Alpatyeva N.V., Kostina L.I., Zoteyeva N.M., Mamadbokirova F.T., Egorova K.V. Molecular screening of potato varieties bred in the northwestern zone of the Russian Federation. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(1):35-45. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Лебедева В.А., Евдокимова З.З., Гаджиев Н.М., Апаликова О.В., Алпатьева Н.В., Костина Л.И., Зотеева Н.М., Мамадбюкирова Ф.Т., Егорова К.В. Молекулярный скрининг сортов и гибридов картофеля северо-западной зоны Российской Федерации. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(1):35-45). DOI: 10.18699/VJ18.329
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Alpatyeva N.V., Kostina L.I., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Apalikova O.V., Novikova L.Y., Antonova O.Yu. Cytoplasmic genetic diversity of potato varieties bred in Russia and FSU countries. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):753-764. DOI: 10.18699/VJ19.534
- Gebhardt C. Potato genetics: molecular maps and more. In: H. Lörz, G. Wenzel (eds). *Molecular marker systems in plant breeding and crop improvement*. New York: Springer; 2005. p.215-227. DOI: 10.1007/3-540-26538-4_12
- Goverse A., Struik P.C. Debate on the exploitation of natural plant diversity to create late blight resistance in potato. *Potato Research*. 2009;52:265-271. DOI: 10.1007/s11540-009-9135-4
- Holgado R., Magnusson C. Management of PCN (*Globodera* spp.) populations under Norwegian conditions. *Aspects of Applied Biology*. 2010;103:83-92.
- Hosaka K., Sanetomo R. Development of a rapid identification method for potato cytoplasm and its use for evaluating Japanese collections. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;125:1237-1251. DOI: 10.1007/s00122-012-1909-4
- Huang S., van der Vossen E.A., Kuang H., Vleeshouwers V.G., Zhang N., Borm T.J., van Eck H.J., Baker B., Jacobsen E., Visser R.G. Comparative genomics enabled the isolation of the *R3a* late blight resistance gene in potato. *Plant Journal*. 2005;42(2):251-261. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02365.x
- Jansky S.H., Rouse D.I. Multiple disease resistance in interspecific hybrids of potato. *Plant Disease*. 2003;87(3):266-272. DOI: 10.1094/PDIS.2003.87.3.266
- Janssen G.J.W., van Norel A., Verkerk-Bakker B., Janssen R., Hoogendoorn J. Introgression of resistance to root-knot nematodes from wild Central American *Solanum* species into *S. tuberosum* ssp. *tuberosum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1997;95(3):490-496. DOI: 10.1007/s001220050588
- Jo K.-R., Zhu S., Bai Y., Hutten R.C.B., Kessel G.J.T., Vleeshouwers V.G.A.A., Jacobsen E., Lotz B., Visser R. Problematic crops: 1. Potatoes: towards sustainable potato late blight resistance by cisgenic *R* gene pyramiding. In: D.B. Collinge (ed.). *Plant pathogen resistance biotechnology*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc; 2016. p.171-191. DOI: 10.1002/9781118867716
- Kasai K., Morikawa Y., Sorri V.A., Valkonen J.P., Gebhardt C., Watanabe K.N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ryadg* based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43:1-8. DOI: 10.1139/g99-092
- Klimenko N.S., Antonova O.Y., Kostina L.I., Mamadbokirova F.T., Gavrilenko T.A. Marker-associated selection of Russian potato varieties with using markers of resistance genes to the golden potato cyst nematode (pathotype Ro1). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2017;178(4):66-75. [in Russian] (Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Костина Л.И., Мамадбюкирова Ф.Т., Гавриленко Т.А. Маркер-опосредованная селекция отечественных сортов картофеля с маркерами генов устойчивости к золотистой картофельной нематоде (патотип Ro1). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(4):66-75). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-66-75
- Lenman M., Ali A., Mühlhenbock P., Carlson-Nilsson U., Liljeroth E., Champouret N., Vleeshouwers V.G.A.A., Andreasson E. Effector-driven marker development and cloning of resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato breeding clone SW93-1015. *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129(1):105-115. DOI: 10.1007/s00122-015-2613-y
- Lima F.S.O., Mattos V.S., Silva E.S., Carvalho M.A.S., Teixeira R.A., Silva J.C., Correa V.R. Nematodes affecting potato and sustainable practices for their management. In: M. Yildiz (ed.). *Potato – from Incas to all over the World*. London: Intechopen; 2018. DOI: 10.5772/intechopen.73056
- Rakotonindraina T., Chauvin J.E., Pellé R., Faivre R., Chatot C., Savary S., Aubertot J.N. Modeling of yield losses caused by potato late blight on eight cultivars with different levels of resistance to *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*. 2012;96(7):935-942. DOI: 10.1094/PDIS-09-11-0752
- Ramakrishnan A.P., Ritland C.E., Sevillano R.H.B., Riseman A. Review of potato molecular markers to enhance trait selection. *American Journal of Potato Research*. 2015;92:455-472. DOI: 10.1007/s12230-015-9455-7
- Sanetomo R., Gebhardt C. Cytoplasmic genome types of European potatoes and their effects on complex agronomic traits. *BMC Plant Biology*. 2015;15:162. DOI: 10.1186/s12870-015-0545-y
- Schultz L., Cogan N.O.I., McLean K., Dale M.F.B., Bryan G.J., Forster J.W., Slater A.T. Evaluation and implementation of a potential diagnostic molecular marker for *H1*-conferred potato cyst nematode resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Breeding*. 2012;131:315-321. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2012.01949.x
- Śliwka J., Jakuczun H., Chmielarz M., Hara-Skrzypiec A., Tomczyńska I., Kilian A., Zimnoch-Guzowska E. Late blight resistance gene from *Solanum ruiz-ceballosii* is located on potato chromosome X and linked to violet flower colour. *BMC Genetics*. 2012;13:11. DOI: 10.1186/1471-2156-13-11
- Sokolova E., Pankin A., Beketova M., Kuznetsova M., Spiglazova S., Rogozina E., Yashina I., Khavkin E. SCAR markers of the *R*-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*. 2011;9(2):309-312. DOI: 10.1017/S1479262111000347
- Song Y.S., Schwarzfischer A. Development of STS markers for selection of extreme resistance (*Rysto*) to PVY and maternal pedigree analysis of extremely resistant cultivars. *American Journal of Potato Research*. 2008;85:159-170. DOI: 10.1007/s12230-008-9012-8
- Spooner D.M., Ghislain M., Simon R., Jansky S.H., Gavrilenko T. Systematics, diversity, genetics, and evolution of wild and cultivated potatoes. *Botanical Review*. 2014;80(4):283-383. DOI: 10.1007/s12229-014-9146-y
- Valkonen J.P.T., Wiegmann K., Hämäläinen J.H., Marczewski W., Watanabe K.N. Evidence for utility of the same PCR-based markers for selection of extreme resistance to *Potato Virus Y* controlled by *Rysto* of *Solanum stoloniferum* derived from different sources. *Annals of Applied Biology*. 2008;152:121-130. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00194.x
- Visker M.H.P.W. Association between late blight resistance and foliage maturity type in potato: Physiological and genetic studies [dissertation]. Wageningen University; 2005. Available from: <https://edpot.wur.nl/121638> [accessed Nov. 13, 2021].
- Voronkova E.V., Rusetskiy N.V., Luksha V.I., Gukasian O.N., Zharich V.M., Yermishin A.P. Marker assisted selection of potato breeding lines with combination of PVY resistance genes from different wild species. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2019;2(4):6-14. [in Russian] (Воронкова Е.В., Русецкий Н.В., Лукша В.И., Гукасян О.Н., Жарич В.М., Ермишин А.П. Маркер-опосредованный отбор селекционных линий

- картофеля с комбинацией генов устойчивости к PVY от разных диких видов. *Биотехнология и селекция растений*. 2019;2(4):6-14. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-01
- Wang M., Allefs S., van den Berg R.G., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E.A.G., Vosman B. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of *Rpi-blb1* are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116:933-943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3
- Zoteyeva N., Chrzanowska M., Flis B., Zimnoch-Guzowska E. Resistance to pathogens of the potato accessions from the collection of N.I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR). *American Journal of Potato Research*. 2012;89:277-293. DOI: 10.1007/s12230-012-9252-5
- Zoteyeva N., Mezaka I., Vilcane D., Carlson-Nilsson U., Skrabule I., Rostoks N. Assessment of genes *R1* and *R3* conferring resistance to late blight and of gene *Rysto* conferring resistance to *Potato Virus Y* in two wild species accessions and their hybrid progenies. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*. 2014;68(3/4):133-141. DOI: 10.2478/prolas-2014-0015
- Zoteyeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Apalikova O.V., Carlson-Nilsson U., Karabitsina Yu.I., Ukhatova Yu.V., Gavrilenko T.A. Facilitation of introgressive hybridization of wild polyploid Mexican potato species using DNA markers of *R* genes and of different cytoplasmic types. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52:964-975. [in Russian] (Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Апаликова О.В., Карлсон-Нильссон У., Карабицина Ю.И., Ухатова Ю.В., Гавриленко Т.А. Использование молекулярных маркеров *R* генов и типов цитоплазмы при интрогрессивной гибридизации диких полиплоидных мексиканских видов картофеля. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52:964-975). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.964rus
- Zoteyeva N.M., Klimenko N.S., Khutti A.V. Pyramiding of pathogen resistance genes via crossing of Mexican potato species *Solanum neoantipoviczii* with selection from 'Aurora' variety. *Plant Protection News*. 2019;4(102):16-22. [in Russian] (Зотеева Н.М., Клименко Н.С., Хютти А.В. Пирамидирование генов устойчивости к патогенам в комбинации скрещивания мексиканского вида картофеля *Solanum neoantipoviczii* с сеянцем сорта 'Аврора'. *Вестник защиты растений*. 2019;4(102):16-22). DOI: 10.31993/2308-6459-2019-4-102-16-22
- Zoteyeva N., Sprūde G., Klimenko N., Mezaka I. Identification of inter-specific potato hybrids with combined resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) and nematode (*Globodera rostochiensis*). *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B*. 2020;74(3):188-195. DOI: 10.2478/prolas-2020-0030
- Zhu S., Li Y., Vossen J.H., Visser R.F., Jacobsen E. Functional stacking of three resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato. *Transgenic Research*. 2012;21:89-99. DOI: 10.1007/s11248-011-9510-1

Информация об авторах

Надежда Мубаровна Зотеева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Отдел генетики, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, zoteyeva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

Ольга Юрьевна Антонова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, olgaant326@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8334-8069>

Наталья Станиславовна Клименко, младший научный сотрудник, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, ns-klimenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5432-6466>

Татьяна Андреевна Гавриленко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая отделом, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Information about the authors

Nadezhda M. Zoteyeva, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Genetics, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, zoteyeva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2266-0467>

Olga Yu. Antonova, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, olgaant326@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8334-8069>

Natalia S. Klimenko, Junior Researcher, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, ns-klimenko@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5432-6466>

Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.02.2022; одобрена после рецензирования 15.03.2022; принята к публикации 24.03.2022

The article was submitted 01.02.2022; approved after reviewing 15.03.2022; accepted for publication on 24.03.2022.

Научная статья

УДК 634.711:57.043

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-02



Криоконсервация образцов сортов малины отечественной селекции из *in vitro* коллекции ВИР

А. М. Камнев, С. Е. Дунаева, Н. Н. Волкова, О. В. Лисицына, Т. А. Гавриленко

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Андреевна Гавриленко, tatjana9972@yandex.ru

В генетических банках растений криоколлекции используются для длительного хранения культур, которые не могут сохраняться в семенных коллекциях. К ним относятся вегетативно размножаемые культуры, образцы видов, формирующих малое число семян или имеющих рекальцитрантные семена. Для криосохранения большинства ягодных культур используют апексы побегов пророщенных растений, поэтому определяющим этапом для них является наличие *in vitro* коллекции. В *in vitro* коллекции ВИР сохраняется 150 образцов рода *Rubus* L., из них 85 сортов малины, в том числе 59 отечественной селекции. Эти сорта характеризуются широким эколого-географическим разнообразием. Среди них имеются сорта малины, созданные в конце XIX века – первой половине XX века, в том числе селекции И.В. Мичурина и основоположника северного садоводства В.В. Спирина. Более половины образцов отечественных сортов малины (33 сорта) числятся в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию. Собранный в *in vitro* коллекции ВИР сортимент малины российской селекции ограниченно представлен в зарубежных генбанках. Задача данной работы заключалась в криоконсервации образцов сортов малины преимущественно народной и старой российской селекции, поступивших в ВИР в период с 1925 по 1950 год, а также мониторинг посткриогенной регенерационной способности у сортов малины, ранее заложенных в криобанк ВИР. Замораживание при сверхнизких температурах апексов микрорастений проводили у 10 сортов малины из *in vitro* коллекции ВИР (7 из которых относятся к сортам народной и старой российской селекции) с использованием ранее оптимизированного протокола дроплет-витрификации – «DV-biotech». В криобанк ВИР на длительное хранение передано 10 образцов сортов малины (900 апексов) со средним уровнем посткриогенной регенерации $38,2 \pm 3,0$, определенным в контрольных экспериментах перед закладкой на длительное хранение в криобанк. Отмечено статистически значимое влияние генотипа на жизнеспособность эксплантов после криоконсервации, в то время как статистически значимого влияния генотипа на посткриогенную регенерацию эксплантов не обнаружено. Дополнительно у 17 сортов малины, хранившихся в криобанке от одного до пяти лет, оценивали уровень посткриогенной регенерации. Из 17 проверенных образцов сортов малины (296 апексов) посткриогенная регенерация на уровне 20%–70% была выявлена у четырех сортов, сохраняемых в криобанке в течение одного года, и на уровне 10%–50% у восьми сортов с более длительным сроком криохранения в криобанке – от трёх до пяти лет. По результатам проведенного мониторинга отмечена регенерация у 12 сортов малины на уровне от 10% до 70%. Эти сорта можно считать надёжно сохраняемыми в парах жидкого азота в криобанке ВИР. Мониторинг посткриогенной регенерации образцов малины, хранящихся в криобанке ВИР, и криоконсервация новых сортов малины будут продолжены.

Ключевые слова: *Rubus idaeus* L., сорта, криоконсервация, посткриогенная регенерация, криобанк, криосохранение

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану НИР по теме № 0481–2022–0004. Авторы выражают благодарность сотруднику ВИР к. б. н. П.В. Озерскому за консультацию и помощь при статистической обработке материала.

Для цитирования: Камнев А.М., Дунаева С.Е., Волкова Н.Н., Лисицына О.В., Гавриленко Т.А. Криоконсервация образцов сортов малины отечественной селекции из *in vitro* коллекции ВИР. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):17-27. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-02

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Камнев А.М., Дунаева С.Е., Волкова Н.Н., Лисицына О. В., Гавриленко Т.А., 2022

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o2

Cryopreservation of raspberry cultivar accessions bred in Russia from the VIR *in vitro* collection

A. M. Kamnev, S. E. Dunaeva, N. N. Volkova, O. V. Lisitsyna, T. A. Gavrilenko

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Tatjana A. Gavrilenko, tatjana9972@yandex.ru

Cryobanks use plant cryocollections for long-term preservation of crops which cannot be preserved in seed collections. These are vegetatively propagated crops, accessions of species which form either a small amount of seeds, or recalcitrant seeds. Shoot tips (apexes) of *in vitro* plants are used for cryopreservation for most berry crops, therefore maintenance of *in vitro* collections is very important. The VIR *in vitro* collection includes 150 accessions of *Rubus* L. species, 85 of them are raspberry cultivars, 59 of which were bred in Russia. These cultivars reflect a wide ecogeographic diversity. Among them, there are raspberry cultivars created at the end of the 19th – first half of the 20th centuries, including cultivars bred by I.V. Michurin and by the pioneer of northern horticulture V.V. Spirin. More than half of national raspberry varieties (33) are listed in the State Register for Selection Achievements Admitted for Usage. Raspberry cultivars from Russian breeding programs have a very limited representation in foreign genebanks. The first aim of the present work was cryopreservation of mostly folk and old Russian raspberry cultivars received by VIR from 1925 till 1950 and their transfer into the cryobank. The second aim of the work was to monitor post-cryogenic regeneration of raspberry cultivars transferred to the cryobank earlier. A modified protocol of the droplet vitrification method by “DV-biotech” was used for cryopreservation of shoot tips of *in vitro* plants of 10 raspberry cultivars (7 of which are folk and old Russian ones) from the VIR *in vitro* collection. Post-cryogenic regeneration was evaluated for 17 raspberry cultivars preserved in the cryobank from one to five years. Ten raspberry cultivars (900 apexes) with an average mean post-cryogenic regeneration value of 38.2±3.0% determined in control tests, were placed in the cryobank for long-term storage. A statistically significant effect of the genotype on the viability of explants after cryopreservation was noted, while the post-cryogenic regeneration was genotype insensitive. Additionally, levels of post-cryogenic regeneration were evaluated for 17 raspberry cultivars (296 apexes) preserved in the cryobank from one to five years. Post-cryogenic regeneration within the 20-70% range was displayed by four raspberry cultivars preserved in the cryobank for one year, and for 8 cultivars conserved there from three to five years post-cryogenic regeneration was within the 10-50% range. According to the results of monitoring, regeneration displayed by 12 raspberry cultivars was within the 10-70% range, which can be considered as a reliable rate of apex preservation in liquid nitrogen vapors in the VIR cryobank. Monitoring of the post-cryogenic regeneration of the raspberry accessions preserved in the VIR cryobank and cryopreservation of new raspberry cultivars will be continued.

Keywords: *Rubus idaeus* L., cultivars, cryobank, post cryogenic regeneration, cryopreservation

Acknowledgments: The article was prepared as part of the VIR State Assignment in accordance with the R&D Thematic Plan, Topic No. 0481–2022–0004 “The study of genetic resources of cultivated plants, their wild relatives and created forms using a complex of modern methods of DNA diagnostics” and No. 0662-2019-0004 “VIR Collections of vegetatively propagated crops (potatoes, fruits, berries, ornamental crops, grapes) and their wild relatives; their study and rational use”. The authors express gratitude to research scientist PhD P.V. Ozerskiy for his advice and assistance in statistical data analysis.

For citation: Kamnev A.M., Dunaeva S.E., Volkova N.N., Lisitsyna O.V., Gavrilenko T.A. Cryopreservation of raspberry cultivar accessions bred in Russia from the VIR *in vitro* collection. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):17-27. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o2

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer.

© Kamnev A.M., Dunaeva S.E., Volkova N.N., Lisitsyna O.V., Gavrilenko T.A., 2022

Введение

Криоконсервация рассматривается как стратегия длительного депонирования в криобанках растительного материала, который не может сохраняться в семенных коллекциях. Это вегетативно размножаемые культуры, виды с рекальцитрантными, не поддающимися длительному хранению семенами или образующие малое количество семян (Reed, 2001; Popova et al., 2015; Panis et al., 2020; Roque-Borda et al., 2021).

Среди ягодных культур умеренного климата малина занимает одно из ведущих мест благодаря ценным пищевым и лекарственным свойствам. В России селекция малины прошла путь от domestikации лесной обыкновенной малины *Rubus idaeus* L. (XVII век) до создания современных сортов, представляющих сложные межвидовые гибриды (Rozanova, 1937; Kazakov et al., 2016).

Малина относится к вегетативно размножаемым культурам, которые в генетических банках растений поддерживаются преимущественно в полевых коллекциях. Для сохранения наиболее ценных генотипов, подверженных в полевых коллекциях воздействию абиотических стрессоров и вредных организмов, создаются дублированные *in vitro* и криоколлекции (Reed et al., 2011; Panis et al., 2020).

В полевом генбанке ВИР поддерживается 209 образцов рода *Rubus* L., из которых 84 – это сорта малины, остальные 125 образцов представлены сортами ежевики, малино-ежевичных гибридов и клонами дикорастущих видов малины, ежевики и морошки. В *in vitro* коллекции ВИР сохраняется 150 образцов, из них 85 сортов малины, другие 65 образцов включают сорта ежевики, малино-ежевичных гибридов и клоны дикорастущих видов рода *Rubus* (Dunaeva et al., 2022). Из 85 сортов малины, 59 относятся к российской селекции; в их число входят сорта малины, созданные в конце XIX – первой половине XX века, в том числе сорта селекции И.В. Мичурина и основоположника северного садоводства В.В. Спирина. Более половины сортов малины (33 сорта), числятся в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию (State Register, 2021). В зарубежных генбанках такой сортимент малины представлен ограниченно.

Для сортов малины, равно как и для других образцов рода *Rubus*, *in vitro* и криоколлекции в настоящее время малочисленны и находятся в единичных депозитариях. Так, самое большое число образцов рода *Rubus* сохраняется в контролируемых условиях в депозитариях США: 135 образцов – в *in vitro* коллекции Национального депозитария клоновой гермоплазмы (NCGR, Corvallis) (Dunaeva et al., 2022) и 187 – в криоколлекции Plant and Animal Genetic Resources Preservation Unit (PAGRPU, Fort Collins) (Jenderek, Reed, 2017). В предыдущей публикации (Ukhatova et al., 2017) нами приведены данные о наличии криоколлекций образцов рода *Rubus* в России и зарубежных странах. В доступных нам литературных источниках

дополнительная информация по криоколлекциям образцов рода *Rubus* не выявлена.

В случае ягодных культур, для криосохранения генотипов растений используют апексы побегов, изолированные из растений *in vitro* (Vysotskaya et al., 1999; Reed, 2001; Kovalchuk et al., 2010; Höfer et al., 2019; Panis et al., 2020); реже фрагменты черенков со спящими почками (Jenderek, Reed, 2017; Rantala et al., 2021) и в селекционных целях проводят криоконсервацию пыльцы источников и доноров ценных признаков (Tikhonova et al., 2020). Криоконсервацию апексов побегов *in vitro* растений образцов рода *Rubus* осуществляют на основе разных методов: программного замораживания с контролируемой скоростью (Reed, Lagerstedt, 1987; Reed, 1988; Reed, 1993; Chang, Reed, 1999; Vysotskaya et al., 1999; Vysotskaya, Popov, 2005), инкапсуляции-дегидратации, инкапсуляции-витрификации (Wang et al., 2005; Gupta, Reed, 2006), PVS2 витрификации (Kovalchuk et al., 2010; Uchendu et al., 2010) и дроplet-витрификации (Nukari et al., 2009; Condello et al., 2011; Vujović et al., 2011, 2017; Tuohimetsä, Nukari, 2019; Edesi et al., 2020).

На базе отдела биотехнологии ВИР была начата криоконсервация сортов малины отечественного происхождения из *in vitro* коллекции института. С использованием оптимизированного протокола дроplet-витрификации – «DV-biotech» (Ukhatova et al., 2017), в 2014–2016 годах проведена закладка в криобанк ВИР 12 сортов малины. В их числе два сорта (‘Новокитаевская’ и ‘Самарская Плотная’), в которых не был выявлен вирус RBDV (Antonova et al., 2015), два сорта малины селекции НИИСС (‘Барнаульская’, ‘Соколенок’), 5 сортов селекции ВСТИСП (‘Бальзам’, ‘Кокинская’, ‘Метеор’, ‘Спутница’, ‘Скромница’) и три сорта малины стародавней селекции (‘Белая Спирина’, ‘Прогресс’ и ‘Шарташская Усанка’) (Ukhatova et al., 2017).

Цель настоящей работы заключалась в расширении криоколлекции образцов сортов малины российской селекции для обеспечения их длительного надежного сохранения. В рамках указанной цели была поставлена задача криоконсервации новых образцов преимущественно староместной селекции и проверки пост-криорегенерационной способности ранее заложенных образцов.

Материалы и методы

В 2019–2021 годах проведена криоконсервация 10 сортов малины обыкновенной (*Rubus idaeus*) из *in vitro* коллекции ВИР, информация о которых представлена в таблице 1. Большинство сортов относятся к стародавней селекции, некоторые из них, по результатам полевой оценки, обладают устойчивостью к болезням, например, ‘Малая Устюжная’ устойчива к ржавчине листьев, а ‘Крупноплодный сеянец’, ‘Ранняя Сладкая’, ‘Суздальская’ и ‘Шарташская Усанка’ – к септориозу (Krivchenko, 1976).

Таблица 1. Информация о сортах малины обыкновенной, отобранных из коллекции *in vitro* для криоконсервации и закладки в криобанк ВИР
Table 1. Data on raspberry cultivars, selected from the VIR *in vitro* collection for cryopreservation and transfer into the VIR cryobank

№/ No.	Название сорта/ Cultivar name	№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Место и год создания сорта/ Place and year of cultivar release	Родительские формы/ метод получения/ Parent cultivars/ cultivar breeding method (Dunaeva, Rokko, 2019)	Год поступления образца в ВИР, откуда образец получен*/ Year of cultivar entry in VIR, Source from which sample was obtained	Год введения в <i>in vitro</i> коллекцию ВИР/ Year of addition to the VIR <i>in vitro</i> collection
1	‘Крупноплодный сеянец’	к-8257	Не установлено	Сорт народной селекции	1949, Челябинская опытная станция (ОС), экспедиционный сбор 1925 года	2002
2	‘Малая Устюжная’	к-8264	Вологодская обл./ не установлен	Сорт народной селекции	1948, Хибинская ОС, экспериментальная база	2009
3	‘Ранняя сладкая’	к-8283	Вологодская обл./ конец XIX – начало XX века	Не установлено	Не установлено	2002
4	‘Суздальская’	к-15014	Не установлено	Сорт народной селекции	1960, не установлено	2002
5	‘Шарташская Усанка’	к-8337	Не установлено	Сорт народной селекции	1925, Франция	2001
6	‘Щербатовка’	к-8339	Не установлено	Сорт народной селекции	1930, Москва	1999
7	‘Марьянушка’	к-39375	Украина/ не установлен	Не установлено	1989, Украина	2002
8	‘Дочь Вислухи’	и:о-144444	НИИСС/ не установлен	Сеянец от свободного опыления сорта ‘Вислуха’	1998, ВСТИСП, Москва	Поступил как <i>in vitro</i> образец
9	‘Зоренька Алтая’	к-13922А	НИИСС/ 1972	Свободное опыление гибрида дикорастущей местной малины <i>R.idaeus</i> × Viking	Год не установлен. НИИСС	2007
10	‘Трояна’	к-35931	НИИСС/ не установлен	Свободное опыление сорта ‘Carnival’	1988, НИИСС	2005

*Данные предоставлены отделом генетических ресурсов плодовых культур ВИР из каталогов поступления образцов

Все клоны сортов малины были введены в культуру *in vitro* из полевой коллекции Павловской опытной станции ВИР (в настоящее время НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»), за исключением сорта ‘Дочь Вислухи’, полученного из *in vitro* коллекции ВСТИСП. Образцы в *in vitro* коллекции ВИР поддерживались при температуре 23–25°C, фотопериоде 16 часов и освещенности люминесцентными лампами 4–5 клк на уровне пробирочных растений. Микроразмножение растительного материала и последующие этапы по криоконсервации апексов побегов *in vitro* растений выполняли в соответствии с протоколом в «Методических указаниях ВИР» (Dunaeva et al., 2017). Криоконсервацию апексов проводили у 10 сортов малины из *in vitro* коллекции ВИР (табл. 2) с использованием оптимизированного протокола дроплет-витрификации – «DV-biotech» (Ukhatova et al., 2017,

Dunaeva et al., 2017). Оценку регенерационной способности образцов проводили через 3, 6 и 8 недель.

Вторая часть исследований заключалась в проверке посткриогенной регенерации 17 сортов малины, заложенных в криобанк ВИР в 2014–2020-х годах (табл. 3) из расчета 9 криопробирок на образец по 10 эксплантов в каждой. Данные о родословных и географическом происхождении этих сортов приведены нами в предыдущей работе (Ukhatova et al., 2017). Из криохранилища извлекали по одной криопробирке каждого сортообразца (до 10 апексов). Оценку посткриогенной регенерационной способности образцов проводили в соответствии с указанным выше протоколом (Dunaeva et al., 2017). В случае отсутствия посткриогенной регенерации, дополнительно извлекали еще три криопробирки, получая в итоге выборку до 40 апексов побегов для одного сорта.

Для статистической обработки полученных данных использовали программу PAST 4.03 (Hammer et al., 2001). Проверку распределений значений регенерации апексов побегов до и после криоконсервации проводили с помощью критерия Шапиро-Уилка. Влияние генотипа оценивали с применением критерия Краскела-Уоллиса, попарное сравнение генотипов проводили при помощи критерия Манна-Уитни (с поправкой Бонферрони) (Kobzar, 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Криоконсервация сортов малины отечественной селекции

В таблице 2 представлены данные посткриогенной регенерации образцов малины отечественной селекции в контрольных экспериментах. Процент регенерировавших эксплантов в варианте погружения эксплантов в жидкий азот ('+LN') в течение одного часа, в среднем составил 38,2%. В этом контрольном варианте только у одного сорта 'Суздальская' частота посткриогенной регенерации была менее 30%.

Таблица 2. Жизнеспособность и посткриогенная регенерация апексов побегов сортов малины из *in vitro* коллекции ВИР, заложенных в криобанк ВИР в 2019-2021 годах

Table 2. Viability and cryoregeneration ability of raspberry cultivar explants from the VIR *in vitro* collection placed in the VIR cryobank in 2019-2021

№/ No.	Сорт/ Cultivar	№ по каталогу ВИР/ VIR catalogue No.	'-LN' Регенерационная способность/ Regeneration ability, %	'+LN'	
				Жизнеспособность/ Viability, %	Регенерационная способность/ Regeneration ability, %
1	'Дочь Вислухи'	и:о-144444	80,9±7,8	58,7±0,7	44,6±2,4
2	'Зоренька Алтая'	к-3922А	43,0±8,1	38,3±6,0	33,3±1,8
3	'Крупноплодный сеянец'	к-8257	41,0±9,5	41,0±7,1	39,0±5,5
4	'Малая Устюжная'	к-8264	58,3±10,9	34,3±5,8	34,3±5,9
5	'Марьянушка'	к-39375	50,3±5,6	37,0±14,0	33,7±10,8
6	'Ранняя сладкая'	к-8283	43,3±3,3	37,3±1,5	37,3±1,6
7	'Суздальская'	к-15014	50,7±0,7	32,7 ±3,2	26,7±6,0
8	'Трояна'	к-35931	36,6±15,2	42,3±3,0	34,7±5,4
9	'Шарташская Усанка'	к-8337	54,8±4,4	37,0±5,4	37,0±5,5
10	'Щербатовка'	к-8339	80,0±10,0	61,7±11,7	61,7±11,8
	Среднее		53,6±4,9	42,0±3,2	38,2±3,0

'-LN' – вариант без погружения апексов побегов в жидкий азот/ option without submerging apexes in liquid nitrogen;

'+LN' – вариант с краткосрочным (один час) погружением апексов побегов в жидкий азот/ option with submerging apexes in liquid nitrogen for 1 hour

Полученные данные указывают на достоверное снижение среднего значения регенерационной способности апексов побегов после их погружения в жидкий азот ($p \leq 0,05$). Выявлено статистически значимое влияние генотипа ($H_c = 27,83$; $p = 0,001$) на регенерационную способность эксплантов в контрольных экспериментах без погружения в жидкий азот (вариант '- LN'), в то время как после криоконсервации (вариант '+LN'), влияние генотипа на этот показатель было не достоверным ($H_c = 16,78$; $p = 0,052$). В то же время, после криоконсервации отмечено статистически значимое влияние генотипа на жизнеспособность эксплантов ($H_c = 21,22$; $p = 0,012$). При попарном сравнении сортов по регене-

рационной способности эксплантов в варианте '- LN' достоверно различались сорта 'Дочь Вислухи' и 'Крупноплодный сеянец', 'Дочь Вислухи' и 'Трояна', 'Щербатовка' и 'Трояна'; после криоконсервации (вариант '+LN') по этому показателю достоверно различались сорта 'Суздальская' и 'Щербатовка', а по уровню жизнеспособности эксплантов – сорта 'Дочь Вислухи' и 'Ранняя сладкая'.

На рисунке 1 приведены данные фоторегистрации формирования регенерантов у сорта малины 'Дочь Вислухи', сделанной на шестой неделе после замораживания и последующего оттаивания (контрольный вариант '+LN').

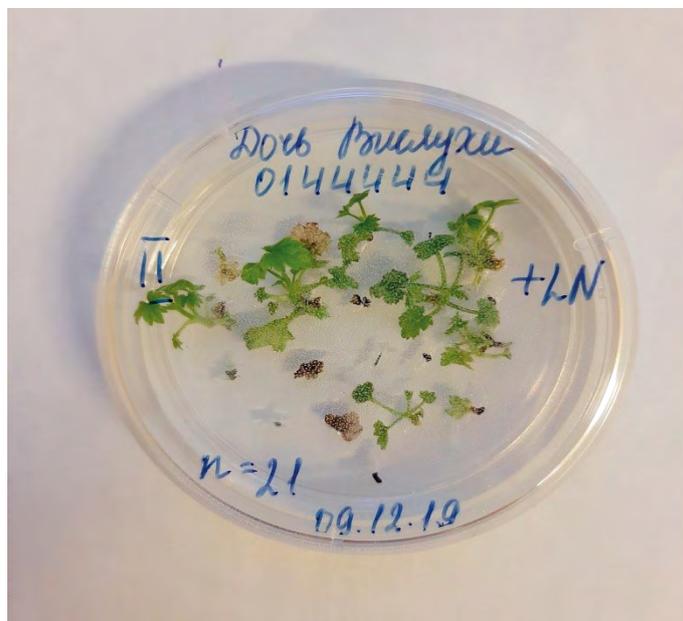


Рис. 1. Посткриогенная регенерация эксплантов сорта малины ‘Дочь Вислухи’ на шестой неделе после замораживания-оттаивания в контрольном варианте.

На представленной фотографии уровень посткриогенной регенерации составляет 38% (8 эксплантов с регенерантами из 21)

Fig. 1. Post-cryogenic regeneration of cultivar ‘Doch Visluxi’¹ isolated explants on week six after freezing and thawing in the control experiment.

Post-cryogenic regeneration rate is 38% (8 explants from 21 have regenerants)

Периодическая оценка регенерационной способности апексов побегов, заложенных в криобанк, по аналогии с контролем всхожести коллекций семян, имеет решающее значение для подтверждения надёжности длительного хранения образцов. Мониторинг жизнеспособности образцов в криобанке также необходим для выяснения качества заложенного материала и выявления потенциальных проблем или образцов с пониженной жизнеспособностью (Vollmer et al., 2017).

Нами была изучена способность апексов побегов к посткриогенной регенерации у 17 сортов малины с разными сроками хранения в криобанке ВИР. Из них 13 сортов малины сохранялись в криобанке ВИР от трёх до пяти лет, и четыре сорта малины (‘Дочь Вислухи’, ‘Зоренька Алтая’, ‘Малая Устюжная’ и ‘Ранняя сладкая’) находились в криобанке в течение одного года. Полученные данные приведены в таблице 3.

¹ От Редактора: в тексте сохранен Авторский вариант транслитерации названия сорта ‘Дочь Вислухи’ по правилам ГОСТ 7.79-2000 система Б (ISO 9:1995) / Editor’s note: The authors version of transliteration of the cultivar name ‘Doch Vislukhi’ according to ISO 9:1995 was retained in the text.

Таблица 3. Результаты мониторинга посткриогенной регенерации апексов побегов 17 сортов малины, сохранившихся в криобанке

Table 3. Results of monitoring the post-cryogenic regeneration for shoot apexes of 17 raspberry cultivars preserved in the VIR cryobank

№/ No.	Название сорта/ Cultivar name	№ по каталогу ВИР/ VIR catalogue No.	Данные о регенерации в контрольных экспериментах (+LN) до закладки образцов в криобанк/ Data of regeneration from control experiments (+LN) before transferring accessions to the cryobank		Данные о регенерации в контрольных выемках образцов из криобанка/ Data from control removal of accessions from the cryobank	
			Год закладки/ Year of placing	Уровень посткриогенной регенерации/ Post-cryogenic regeneration rate (%)	Число, месяц, год выемки материала/ Date, month, year of material removal	*Уровень посткриогенной регенерации/ Post-cryogenic regeneration, %
Закладка образцов в криобанк в 2014–2016 годах/ Transferring of accessions into the cryobank in 2014-2016						
Уровень посткриогенной регенерации образцы сортов малины после трёх - пяти лет хранения в криобанке/ Post-cryogenic regeneration capacity of raspberry cultivars after three-five years of preservation in the cryobank						
1	‘Phoenix’	к-25944	2016	70,1±4,7	10.09.2019	29% (2/7)
2	‘Барнаульская’	к-31185	2015	81,1±1,1	10.09.2019	37% (3/8)
3	‘Белая Спирина’	к-8210	2014	57,4±6,3	07.10.2019	50% (5/10)
4	‘Кокинская’	к-35921	2015	51,7±1,7	10.09.2019	30% (3/10)
					27.01.2020	50% (5/10)
5	‘Метеор’	к-35926	2016	89,3±0,7	10.09.2019	20% (2/10)
					13.03.2020	30% (3/10)
6	‘Прогресс’	к-8293	2016	56,8±9,1	10.09.2019	20% (2/10)
7	‘Скромница’	к-35478	2014	24,2±5,6	07.10.2019	25% (3/12)
8	‘Шарташская Усанка’	к-8337	2016	67,2±11,2	10.09.2019	0% (0/10)
					07.10.2019	10% (1/10)
Образцы сортов, выявивших посткриогенную регенерацию после одного года хранения в криобанке/ Cultivars which demonstrated post-cryogenic regeneration after one year of preservation in the cryobank						
9	‘Ранняя сладкая’	к-8283	2019	см. табл. 2	13.03.2020	20% (2/10)
10	‘Малая Устюжная’	к-8264	2019	см. табл. 2	13.03.2020	44% (4/9)
11	‘Зоренька Алтая’**	к-13922А	2019	см. табл. 2	13.03.2020	70% (7/10)
12	‘Дочь Вислухи’	и:о-144444	2019	см. табл. 2	13.03.2020	30% (3/10)
Образцы сортов, продемонстрировавшие посткриогенную регенерацию при трёхкратной выемке из криобанка (10.09.19; 07.10.19; 10.09.20) Cultivars which demonstrated post-cryogenic regeneration after a triple removal from the cryobank (10.09.19; 07.10.19; 10.09.20)						
13	‘Бальзам’	к-35477	2016	80,6±6,3	10.09.19	0/10
					07.10.2019	0/9
					10.09.2020	0/20
14	‘Новокитаевская’	к-29862	2015	40,0±6,5	10.09.19	0/10
					07.10.2019	0/10
					10.09.2020	0/20
15	‘Самарская плотная’	к-040730	2015	55,2±10,3	10.09.19	0/10
					07.10.2019	0/12
					10.09.2020	0/19
16	‘Соколёнок’	к-40483	2016	81,1±7,0	10.09.19	0/10
					07.10.2019	0/10
					10.09.2020	0/20
17	‘Спутница’	к-35476	2015	45,5±1,1	10.09.19	0/10
					07.10.2019	0/10
					10.09.2020	0/20

*показания сняты через 8 недель после пересадки апексов на регенерационную среду MSTo; в скобках дано соотношение числа регенерантов к числу эксплантов в криопробирке, изъятой из криобанка/ recorded 8 weeks after transplanting the apexes onto MSTo regeneration medium; in parentheses is the ratio of the number of regenerants to the number of explants in a cryotube removed from the cryobank;

**сорт был заложен в 2019 году в первой повторности (число эксплантов =30)/ the variety was placed for preservation in 2019 in the first replication (the number of explants = 30)

На рисунке 2 представлена фотография эксплантов, культивируемых на регенерационной питательной среде после трёх лет хранения образцов малины в криобанке. Показано развитие апексов с образованием регенерантов у сортов малины ‘Phoenix’, ‘Прогресс’, ‘Метеор’.

Согласно протоколам, в криобанке должно находиться по 9 криопробирок каждого образца, в каждой криопробирке – по 10 замороженных эксплантов. Поэтому допустимо изъятие единичных криопробирок для проведения мониторинга без риска потери жизнеспособного образца. Как видно из данных, приведённых в таблице 3, из 17 сортов, изученных в ходе мониторинга, 12 продемонстрировали посткриогенную регенерацию после хранения в криобанке в парах жидкого азота. Среди них все четыре сорта малины, заложенные в криобанк в 2019 году, и 8 из 13 сортов малины, заложенных в криобанк в 2014-2016 годах. У остальных пяти из 13 сортов малины (‘Бальзам’, ‘Новокитаевская’, ‘Самарская плотная’, ‘Соколёнок’, ‘Спутница’), сохранявшихся в криобанке ВИР от четырёх до пяти лет, посткриогенная регенерация не наблюдалась. Мы провели анализ полученных

данных мониторинга у образцов малины, извлечённых из криобанка одновременно, в одной партии. В частности, 10.09.2019 одновременно из криобанка были извлечены сорта малины ‘Phoenix’ ‘Метеор’, ‘Барнаульская’, ‘Кокинская’ с показателями посткриогенной регенерации в мониторинге от 20% до 50% регенерантов, и образцы пяти сортов (‘Бальзам’, ‘Новокитаевская’, ‘Самарская плотная’, ‘Соколёнок’, ‘Спутница’) с нулевой посткриогенной регенерацией. Таким образом, какие-либо ошибки при изъятии, транспортировке и размораживании эксплантов можно исключить. При дополнительной выемке 07.10.2019 и 10.09.2020 ещё трех криопробирок (по 10 эксплантов в каждой) у образцов, не выявивших регенерации (‘Бальзам’, ‘Новокитаевская’, ‘Самарская плотная’, ‘Соколёнок’, ‘Спутница’), повторно были получены нулевые значения.

В работе G.M. Volk с соавторами (Volk et al., 2017) приводится таблица расчета вероятного числа посткриогенных жизнеспособных апексов на основании среднего уровня их регенерации и числа эксплантов при закладке в криобанк. В соответствии с таблицей, приведённой

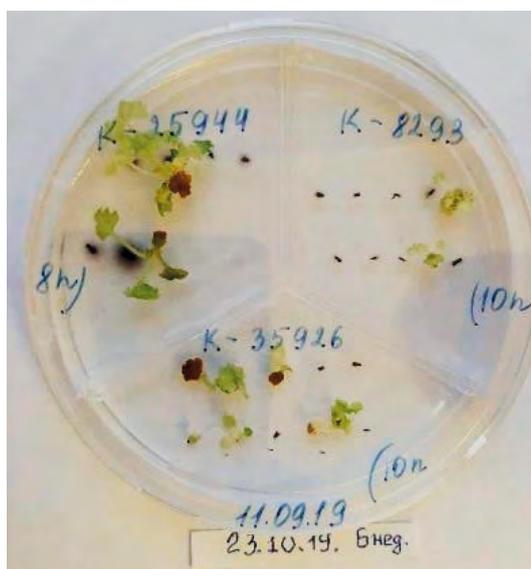


Рис. 2. Посткриогенная регенерация сортов малины ‘Phoenix’, ‘Прогресс’, ‘Метеор’ после трёх лет хранения в криобанке

Fig. 2. Post-cryogenic regeneration of raspberry cultivars ‘Phoenix’, ‘Progress’, ‘Meteor’ after three years of preservation in the cryobank

в цитируемой выше статье, из 90 апексов, заложенных в криобанк на хранение со средним уровнем регенерации 40% (как, например, у сорта 'Новокитаевская' в нашей работе), как минимум 28 апексов смогут сформировать регенеранты с вероятностью 0,95. При условии равномерного распределения числа жизнеспособных эксплантов (90 апексов распределены в 9 криопробирках по 10 в каждой) возможно прогнозировать в извлеченной из криобанка одной пробирке не менее трёх (28:9) жизнеспособных эксплантов. Полученные в нашей работе нулевые значения посткриогенной регенерации у пяти из 13 сортов малины, заложенных в криобанк ВИР в 2015-2016 годах, требуют дальнейшего анализа.

Заключение

Продолжается формирование криоколлекции образцов малины – заложено в криобанк ВИР 10 сортов, преимущественно староместной отечественной селекции. У данных сортов малины показатель посткриогенной регенерационной способности варьировал от 26,7% до 61,7%, и в среднем составил 38,2%. Статистически значимого влияния генотипа на регенерационную способность эксплантов после криоконсервации не было выявлено, в то время как влияние генотипа на жизнеспособность эксплантов после криоконсервации оказалось статистически значимым. При проверке посткриогенной регенерации у 17 образцов малины, хранившихся в криобанке от одного года до пяти лет посткриогенная регенерация зарегистрирована у 12 сортов, эти образцы можно считать надежно сохраняемыми в криобанке ВИР. У 5 сортов малины ('Бальзам', 'Новокитаевская', 'Самарская плотная', 'Соколёнок', 'Спутница'), сохранявшихся в криобанке ВИР от четырёх до пяти лет, посткриогенная регенерация не наблюдалась. Последующая работа будет включать мониторинг посткриогенной жизнеспособности и регенерации заложенных ранее в криобанк образцов и пополнение криоколлекции сортами малины отечественной селекции из *in vitro* коллекции ВИР.

Список использованных в работе сокращений

НИИСС – НИИСС им. М.А. Лисавенко – Научно-исследовательский институт им. М.А. Лисавенко
ВСТИСП – Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства
НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» – Научно-производственная База «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР»

References/Литература

Antonova O. Y., Dunaeva S.E., Ukhatoeva Yu. V., Kamylyna N. Y., Dolganova N.A., Lisicyna O.V., Gavrilenko T.A. *In vitro* improvement of raspberry varieties from raspberry bushy dwarf virus (RBDV) using complex therapy method. *Research and Technical Advances of Agribusiness Sector*. 2015;29(7):61-64.

- [In Russian] (Антонова О.Ю., Дунаева С.Е., Ухатова Ю.В., Камылина Н.Ю., Долганова Н.А., Лисицына О.В., Гавриленко Т.А. Оздоровление малины от вируса кустистой карликовости (rbdv) методом комплексной терапии в культуре *in vitro*. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):61-64).
- Chang Y., Reed B.M. Extended cold acclimation and recovery medium alteration improve regrowth of *Rubus* shoot tips following cryopreservation. *CryoLetters*. 1999;20(6):371-376.
- Condello E., Ruzić D., Panis B., Caboni E. Raspberry cryopreservation by droplet vitrification technique. *Acta Horticulture*. 2011;918:965-969. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.918.127
- Dunaeva S.E., Krasovskaya L.S., Gavrilenko T.A. *Ex situ* conservation of biological resources of the genus *Rubus* (Rosaceae). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(1):236-253. [In Russian] (Дунаева С.Е., Красовская Л.С., Гавриленко Т.А. Сохранение генетических ресурсов рода *Rubus* (Rosaceae) *ex situ*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):236-253). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-236-253
- Dunaeva S.E., Pendinen G.I., Antonova O.Y., Shvachko N.A., Ukhatoeva Y.V., Shuvalova L.E., Volkova N.N., Gavrilenko T.A. Preservation of vegetatively propagated crops in *in vitro* and cryo-collections: methodological guidelines. (Sokhraneniye vegetativno razmnozhayemykh kultur v *in vitro* i krio kollekttsiyakh: metodicheskiye ukazaniya). T.A. Gavrilenko (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Дунаева С.Е., Пендинен Г.И., Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Ухатова Ю.В., Шувалова Л.Е., Волкова Н.Н., Гавриленко Т.А. Сохранение вегетативно размножаемых культур в *in vitro* и крио коллекциях: методические указания / под редакцией Т.А. Гавриленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Dunaeva S.E., Rokko G.S. Catalogue of the VIR global collection. Issue 899. *In vitro* collection of raspberries and blackberries (*Rubus* L., Rosaceae). St. Petersburg: VIR; 2019. [in Russian] (Дунаева С.Е., Рокко Г.С. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 899. Коллекция *in vitro* малины и ежевики (*Rubus* L., Rosaceae). Санкт-Петербург: ВИР; 2019).
- Edesi J., Tolonen J., Ruotsalainen A.L., Aspi J., Häggman H. Cryopreservation enables long-term conservation of critically endangered species *Rubus humulifolius*. *Biodiversity and Conservation*. 2020;29(1):303-314. DOI: 10.1007/s10531-019-01883-9
- Gupta S., Reed B.M. Cryopreservation of shoot tips of blackberry and raspberry by encapsulation-dehydration and vitrification. *CryoLetters*. 2006;27(1):29-42.
- Hammer Ø., Harper D.A., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*. 2001;4(1):1-9.
- Höfer M., Flachowsky H., Hanke M.-V. German Fruit Genebank – looking back 10 years after launching a national network for sustainable preservation of fruit genetic resources. *Journal für Kulturpflanzen*. 2019;71(2/3):41-51. DOI: 10.5073/JfK.2019.02-03.01
- Jenderek M.M., Reed B.M. Cryopreserved storage of clonal germplasm in the USDA National Plant Germplasm System. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2017;53(4):299-308. DOI: 10.1007/s11627-017-9828-3
- Kazakov I.V., Aytzhaniva S.D., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Kulagina V.L., Andronova N.V. Berry crops in the Central region of Russia (Yagodnyye kul'tury v Tsentral'nom regione Rossii). 2nd ed. Moscow; 2016. [In Russian] (Казакوف И.В., Айтжанова С.Д., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Кулагина В.Л., Андронова Н.В. Ягодные культуры в Центральном регионе России. 2-е изд. Москва; 2016).
- Kobzar A.I. Applied mathematical statistics (Prikladnaya matematicheskaya statistika). Moscow: Fizmatlit; 2006. [In Russian] (Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Москва: Физматлит; 2006).
- Krivchenko V.I. (ed.) Catalogue of the VIR global collection. Issue 186. Strawberry, raspberry and blackberry field resistance for main diseases (Katalog mirovoy kollekttsii VIR. Vypusk 186. Polevaya ustoychivost' zemlyaniki, maliny i ezheviki k osnovnym zabolevaniyam). Leningrad: VIR; 1976. [In Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 186. Полевая устойчивость

- земляники, малины и ежевики к основным заболеваниям / под редакцией В.И. Кривченко. Ленинград: ВИР; 1976).
- Kovalchuk I., Turdiev T., Kushnarenko S., Rakhimbaev I., Reed B.M. Cryopreservation of raspberry cultivars: Testing Techniques for Long-Term Storage of Kazakhstan's Plant Germplasm. *The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology*. 2010;4(1):1-4.
- Nukari A., Uosukainen M., Rokka V.M. Cryopreservation techniques and their application in vegetatively propagated crop plants in Finland. *Agricultural and food science*. 2009;18(2):117-128. DOI: 10.2137/145960609789267506
- Panis B., Nagel M., Van den Houwe I. Challenges and prospects for the conservation of crop genetic resources in field genebanks, in *in vitro* collections and/or in liquid nitrogen. *Plants*. 2020;9(12):1634. DOI: 10.3390/plants9121634
- Popova E., Shukla M., Kim H.H., Saxena P.K. Plant cryopreservation for biotechnology and breeding. In: Al-Khayri J.M., Jain S.M., Johnson D.V. (eds.) *Advances in plant breeding strategies: breeding, biotechnology and molecular tools*. Cham: Springer; 2015. p.63-93. DOI: 10.1007/978-3-319-22521-0_3
- Rantala S., Kaseva J., Nukari A., Laamanen J., Veteläinen M., Häggman H., Karhu S. Successful cryopreservation of dormant buds of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) by using greenhouse-grown plants and *in vitro* recovery. *Plants*. 2021;10(7):1414. DOI: 10.3390/plants10071414
- Reed B.M. Cold acclimation as a method to improve survival of cryopreserved *Rubus* meristems. *CryoLetters*. 1988;9(3):166-171.
- Reed B.M. Improved survival of *in vitro*-stored *Rubus* germplasm. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1993;118(6):890-895. DOI: 10.21273/JASHS.118.6.890
- Reed B.M. Implementing cryogenic storage of clonally propagated plants. *CryoLetters*. 2001;22(2):97-104.
- Reed B.M., Lagerstedt H.B. Effects of prefreezing temperature, freezing rate and cryoprotectants on the survival of apical meristems of *Vaccinium* frozen in liquid nitrogen. *Cryobiology*. 1987;24(6):571-572. DOI: 10.1016/0011-2240(87)90135-0
- Reed B.M., Sarasan V., Kane M., Bunn E., Pence V.C. Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*. 2011;47:1-4. DOI: 10.1007/s11627-010-9337-0
- Roque-Borda C.A., Kulus D., Vacaro de Souza A., Kaviani B., Vicente E.F. Cryopreservation of agronomic plant germplasm using vitrification-based methods: An overview of selected case studies. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(11):1-33. DOI: 10.3390/ijms22116157
- Rozanova M.A. Berry studies and berry growing (Yagodovedenie i yagodovodstvo). 2nd ed. Leningrad: Selkhozgiz, Leningrad branch; 1937. [in Russian] (Розанова М.А. Ягодведение и ягодоводство. 2-е изд. Ленинград: Сельхозгиз, Ленинградское отделение; 1937).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication). Moscow: Rosinformagrotekh; 2021; 2021. [In Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1 «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформгротех; 2021). URL: <https://ogorodum.ru/docs/gosreestr-rus.pdf> [дата обращения: 24.12.2021].
- Tikhonova O.A., Gavrilova O.A., Radchenko E.A., Verzhuk V.G., Pavlov A.V. Viability of black currant pollen before and after cryopreservation in liquid nitrogen, and its morphological features. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(3):110-119. [In Russian] (Тихонова О.А., Гаврилова О.А., Радченко Е.А., Вержук В.Г., Павлов А.В. Жизнеспособность пыльцы черной смородины до и после криоконсервирования в жидком азоте и особенности ее морфологии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):110-119). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-110-119
- Tuohimetsä S., Nukari A. Modified droplet-vitrification cryopreservation of arctic bramble (*Rubus arcticus*) and hybrid arctic bramble. *Acta Horticulture*. 2019;1234:225-232. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1234.30
- Uchendu E.E., Muminova M., Gupta S., Reed B.M. Antioxidant and anti-stress compounds improve regrowth of cryopreserved *Rubus* shoot tips. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2010;46(4):386-393. DOI: 10.1007/s11627-010-9292-9
- Ukhatova Y.V., Dunaeva S.E., Antonova O.Y., Apalikova O.V., Pozdniakova K.S., Novikova L.Y., Shuvalova L.E., Gavrilenko T.A. Cryopreservation of red raspberry cultivars from the VIR *in vitro* collection using a modified droplet vitrification method. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2017;53:394-401. DOI: 10.1007/s11627-017-9860-3
- Volk G.M., Henk A.D., Jenderek M.M., Richards C.M. Probabilistic viability calculations for cryopreserving vegetatively propagated collections in genebanks. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2017;64(7):1613-1622. DOI: 10.1007/s10722-016-0460-6
- Vollmer R., Villagaray R., Cárdenas J., Castro M., Chávez O., Anglin N.L., Ellis D. A large-scale viability assessment of the potato cryobank at the International Potato Center (CIP). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2017;53(4):309-317. DOI: 10.1007/s11627-017-9846-1
- Vujović T., Ružić D., Cerović R. Effect of the duration of liquid nitrogen storage on the regrowth of blackberry cryopreserved by droplet vitrification. *Contemporary Agriculture*. 2017;66:44-50. DOI: 10.1515/contagri-2017-0008
- Vujović T., Sylvestre I., Ružić D., Engelmann F. Droplet-vitrification of apical shoot tips of *Rubus fruticosus* L. and *Prunus cerasifera* Ehrh. *Scientia Horticulturae*. 2011;130(1):222-228. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.06.049
- Vysotskaya O.N., Mochammed A.I., Butenko R.G. Cryopreservation of red raspberry meristems (*Rubus idaeus* L.) isolated from *in vitro* plantlets. *Biology Bulletin*. 1999;26(1):19-22. Available from: https://www.researchgate.net/publication/259417833_Cryopreservation_of_Red_Raspberry_Meristems_Rubus_idaeus_L_Isolated_from_in_vitro_Plantlets [accessed Nov. 23, 2021].
- Vysotskaya O.N., Popov A.S. Method of cryogenic *in vitro* keeping meristems isolated from red raspberry plants. Russian Federation; invention patent number: 2248121; 2005. [In Russian] (Высоцкая О.Н., Попов А.С. Способ криосохранения меристем, изолированных из растений малины красной (*Rubus idaeus* L.) *in vitro*. Российская Федерация; патент на изобретение № 2248121; 2005).
- Wang Q., Laamanen J., Uosukainen M., Valkonen J.P.T. Cryopreservation of *in vitro*-grown shoot tips of raspberry (*Rubus idaeus* L.) by encapsulation-vitrification and encapsulation-dehydration. *Plant Cell Reports*. 2005;24:280-288. DOI: 10.1007/s00299-005-0936-x

Информация об авторах

Антон Михайлович Камнев, младший научный сотрудник, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, antonkamen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8103-2191>

Светлана Ефимовна Дунаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, dunaevase@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7002-8066>

Наталья Николаевна Волкова, ведущий специалист, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, nata.volckova@yandex.ru

Ольга Владимировна Лисицына, специалист, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, olgalis86@yandex.ru

Татьяна Андреевна Гавриленко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая отделом, Отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Information about the authors

Anton M. Kamnev, Associate Researcher, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, antonkamen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8103-2191>

Svetlana E. Dunaeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, dunaevase@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7002-8066>

Natalia N. Volkova, Leading Specialist, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, nata.volckova@yandex.ru

Olga V. Lisitsyna, Specialist, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, olgalis86@yandex.ru

Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, tatjana9972@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 17.02.2022; одобрена после рецензирования 11.03.2022; принята к публикации 24.03.2022
The article was submitted 17.02.2022; approved after reviewing 11.03.2022; accepted for publication on 24.03.2022.

Обзорная статья
УДК 635.21:631.52:57.085.23
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-05



Сохранение сортовых ресурсов картофеля в полевой и *in vitro* коллекциях Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха

Е. В. Овэс, Н. А. Гаитова, О. А. Шишкина

Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Красково, Люберцы, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Васильевна Овэс, oveselena@mail.ru

Главной биологической особенностью сортов картофеля является вегетативное размножение. С этим способом размножения могут быть связаны проблемы, обусловленные физиологическим старением культуры и накоплением специфических патогенов, вызывающих снижение урожая клубней. Чтобы избежать данных проблем, в семеноводстве картофеля широко применяются современные биотехнологические методы. Так, использование культуры апикальных меристем и методов микроклонального размножения позволяет сохранить типичность биоматериала в процессе поддержания *in vitro* коллекций картофеля. Однако даже в таких условиях существует угроза закрепления модификаций отдельных хозяйственно-ценных признаков. У сортов картофеля такие ненаследственные отклонения проявляются в виде смещения фенологических фаз и периода созревания клубней. Применение современных высокотехнологичных способов хранения сортовых ресурсов, реализуемых на основе биотехнологических подходов, позволяет сохранить высокое качество биоматериала. При этом главными критериями, определяющими эффективность различных способов хранения, остаются мобильность и практичность, которые определяются степенью их возможного использования на практике. В данном обзоре на примере коллекции сортов ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха рассмотрены основные этапы формирования и функционирования современного Банка здоровых сортов картофеля (БЗСК), который обеспечивает различные регионы РФ высококачественными, свободными от фитопатогенов сортообразцами картофеля.

Ключевые слова: картофель, сортовые ресурсы, хранение, *in vitro* коллекция, биоконсервация, микроклубни, полевая коллекция.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха согласно тематическому плану НИР по теме FNRZ-2019-0001 «Пополнение, изучение и поддержание генетических коллекций новыми донорами и генетическими источниками хозяйственно ценных признаков для повышения эффективности селекции картофеля в направлении создания новых высокопродуктивных сортов с комплексной устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам, широким диапазоном адаптивной способности к условиям среды».

Для цитирования: Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А. Сохранение сортовых ресурсов картофеля в полевой и *in vitro* коллекциях Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):28-41. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-05

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А., 2022

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o5

Maintenance of potato varieties in *in vitro* and field collections of the Russian Potato Research Centre

Elena V. Oves, Natalia A. Gaitova, Olga A. Shishkina

Russian Potato Research Centre, Kraskovo, Lyubertsy, Russia

Corresponding author: Elena Vasilevna Oves, oveselena@mail.ru

The main biological feature of potato varieties is vegetative reproduction. This mode of reproduction can be associated with problems due to the physiological ageing of the crop and the accumulation of specific pathogens causing reduced tuber yields. In order to avoid these problems, potato seed production widely uses modern biotechnological methods. The use of meristemic technologies allows preserving the identity of the biomaterial in the process of maintaining the potato collection *in vitro*, but even under these conditions there is a threat that modifications of individual economically valuable traits may get fixed. In potato varieties, such non-heritable deviations manifest themselves in the form of a shift in phenophases and the period of tubers ripening. The use of modern high-tech methods of varietal resources storage implemented on the basis of biotechnological approaches, makes it possible to maintain high quality of biomaterial. At the same time, mobility and practicality remain the main criteria for the effectiveness of different storage methods, depending on the extent to which they can be used in practice. In this review, the collection of varieties at Russian Potato Research Center is used as an example for considering the main stages of the formation and functioning of a modern Bank of Healthy Potato Varieties (BHPV), which supplies various regions of the Russian Federation with high-quality phytopathogen-free potato varieties.

Keywords: Potato, cultivar resources, storage, *in vitro* collection, bioconservation, microtubers, field collections.

Acknowledgments: The research was performed within the frames of the State Assignment in accordance with the R&D Thematic Plan of the Russian Potato Research Center, Topic FNRZ-2019-0001 “Replenishment, study and maintenance of genetic collections with new donors and genetic sources of commercially valuable traits to improve potato breeding efficiency towards creating new high-performance varieties with integrated resistance to biotic and abiotic factors, and a wide range of adaptive ability to environmental conditions”.

For citation: Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A. Maintenance of potato varieties in *in vitro* and field collections of the Russian Potato Research Center. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):28-41. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o5

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer.

© Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., 2022

Структура Банка здоровых сортов картофеля (БЗСК).

Поддержание сортов картофеля в полевой коллекции, где ограничено распространение инфекционных очагов и переносчиков вирусной инфекции, является эффективным методом сохранения сортовой типичности и получения здорового исходного материала. В международной практике для этих целей широко используются природные средообразующие факторы: северные территории, горные условия, крупные водоемы, островные или прибрежные территории. Благоприятными территориями с прохладным климатом, которым присвоен статус ЕС «High Grade Seed Potato Area» являются: районы побережья Балтийского моря (Германия и Польша), северо-западные районы Бретани (Франция), предгорья Альп и Апеннин (Италия), северная провинция Норланд (Швеция), северная зона Оулу (Финляндия).

В Нидерландах, в соответствие со схемой предбазисного семеноводства (pre-basic seed) воспроизводства картофеля, отбор исходных материнских клубней для введения в культуру *in vitro* и дальнейшего размножения осуществляется в клоновых питомниках первого, второго и третьего года. Питомники поддерживают в условиях строгой изоляции и пополняют за счет как собственных полевых генераций, так и за счет микроклонирования с использованием культуры тканей (Mastenbroek, 1998).

В Российской Федерации к более благоприятным, соответствующим фитосанитарным требованиям, отнесены территории Европейского Севера и высокогорья Северного Кавказа. К несомненным преимуществам этих регионов относится низкий инфекционный фон, позволяющий минимизировать распространение наиболее вредных вирусных болезней в период вегетации растений. В условиях Европейского Севера глубокое промерзание почвы в зимний период способствует ее очищению от возбудителей болезней и вредителей, высокий уровень солнечного освещения в летние месяцы создает хорошие условия для ускоренного роста и развития растений (Anisimov, Oves, 2011). Вертикальная зональность высокогорья является природным барьером, препятствующим перелету переносчиков вирусной инфекции (Gerieva et al., 2014; Menokhov, 2012; Polukhin et al., 2010; Serderov et al., 2019; Ali et al., 2018). В отсутствие инфекционных очагов семенной материал высокого класса можно воспроизводить в высокогорной зоне 5-6 лет (Oves et al., 2021; Basiev, 2009; Davudov, 2020; Kardanova et al., 2018; Serderov, 2019).

Работы по созданию полевой коллекции Банка Здоровых Сортотипичности Картофеля (БЗСК) в чистых фитосанитарных условиях были инициированы в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха в начале 2000-х годов. Предназначение коллекции на основе поддержания БЗСК заключается в сохранении сортотипичности и свободного от фитопатогенов состояния сортобразцов картофеля. Преимущество такой коллекции состоит в систематическом монито-

ринге сортоотличительных и качественных показателей, что позволяет ежегодно проводить отбор лучших, типичных для каждого сорта, высокопродуктивных растений (базовых клонов). БЗСК в полевой культуре представлен двумя питомниками: коллекционным и питомником базовых клонов (рис. 1).

Коллекционный питомник БЗСК, формирующийся за счет новых поступлений от оригинаторов сортов, поддерживается на основе проведения ежегодного непрерывного улучшающего отбора. Питомник состоит из нескольких блоков: в первом блоке размещают клубни, поступившие от оригинаторов сортов картофеля, предназначенные для формирования БЗСК. В дальнейшем, номер блока указывает на кратность проведенного отбора, основанного на ежегодной тщательной визуальной оценке сортовой типичности и фитосанитарного статуса каждого индивидуального клона, отобранного в период бутонизации – цветения. При уборке обязательным требованием является проведение оценки морфологических характеристик клубней на основе точного авторского описания сортов (Oves, Zhevora, 2015; Oves et al., 2020).

Начиная с третьего блока, отбор в коллекционном питомнике направлен на получение базовых клонов растений с наиболее выраженными сортоспецифичными морфологическими признаками и свободных от вирусных инфекций по результатам диагностики методом ОТ-ПЦР-анализа. При уборке клонов, свободных от фитопатогенов, отбирают наиболее продуктивные, характеризующиеся высокой выровненностью. Свободные от вирусов клоны из коллекционного питомника вводят в культуру *in vitro* с целью дальнейшего получения мини-клубней и формирования питомника базовых клонов.

Основным источником пополнения питомника базовых клонов являются мини-клубни. Отобранные клоны из мини-клубней подлежат ежегодному мониторингу на сортовую типичность и диагностике на наличие фитопатогенов. Ежегодно в питомнике осуществляется отбор лучших клонов для поддержания базовой коллекции, от которых отбирается клубневой биоматериал для введения в культуру ткани и тиражирования новых клонов *in vitro*. Объем выборки для каждого сорта составляет 25 базовых клонов, участвующих в оценке, из расчета отбора по одному клубню от каждых 3-5 растений. Каждый отобранный клубень нумеруют и отправляют на дальнейшее хранение с последующим индивидуальным тестированием на наличие скрытой фитопатогенной инфекции. Остальные клубни отобранных базовых клонов поступают для закладки на хранение и используются в качестве посадочного материала при закладке питомника базовых клонов на следующий год. Таким образом, ежегодно для воспроизводства в питомнике базовых клонов каждого сорта отбирают 3-5 лучших по развитию клонов, характеризующихся высоким коэффициентом размножения и выровненностью клубней (Oves et al., 2020).

Составной частью работ, проводимых в питомни-

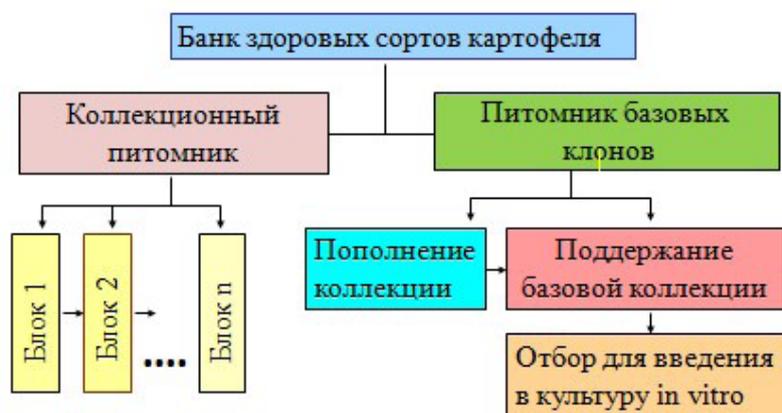


Рис. 1. Структура Банка здоровых сортов картофеля в полевой культуре
Fig. 1. Structure of the Bank of Healthy Potato Varieties in field culture

ке базовых клонов, является пополнение и поддержание коллекции свободных от фитопатогенов сортов картофеля. Для пополнения коллекции используются исключительно мини-клубни, выращенные на различных субстратах. Дальнейшая работа в этом питомнике заключается в проведении отбора наиболее продуктивных клонов. На рисунке 2 отражен процесс проведения отбора базовых клонов по продуктивности. Клубни для введения в культуру *in vitro* отбирают только от растения, характеризующегося высоким коэффициентом размножения и выровненными клубнями, каким в приведенном примере является первый клон.

Важным элементом, способствующим минимизации риска передачи фитопатогенной инфекции при поддержании сортов в полевой коллекции БЗСК, является система контроля качества с применением наиболее чув-

ствительных современных методов детекции фитопатогенов. Применение многократного улучшающего отбора при поддержании сортообразцов картофеля в чистых фитосанитарных условиях сопровождается обязательным 100% тестированием растений с применением ПЦР анализа на наличие скрытой зараженности фитопатогенами. По результатам диагностики, от наиболее продуктивных растений, характеризующихся высоким коэффициентом размножения и выровненностью урожая клубней, проводится отбор клонов для введения в культуру ткани. После прохождения периода покоя клубневой материал повторно тестируют на наличие инфекций различной этиологии. Световые ростки, отсеченные от каждого промаркированного клубня, стерилизуют, в асептических условиях, нарезают на черенки и размещают в пробирки с питательной средой (рис. 3). Введенные в куль-



Рис. 2. Отбор базовых клонов по признакам продуктивности и выровненности клубней
Fig. 2. Master clone selection based on productivity and size and shape uniformity of tubers

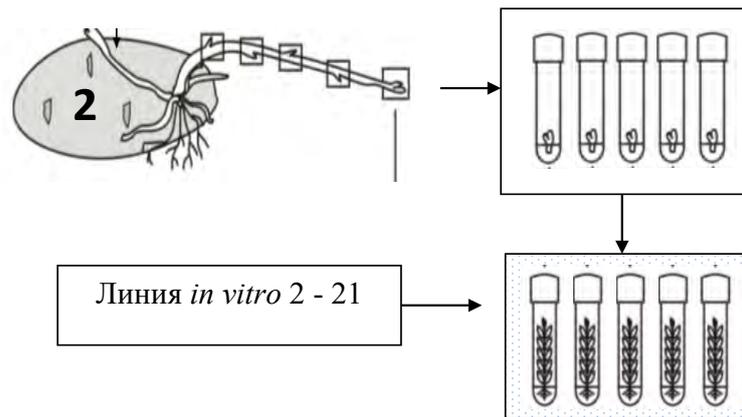


Рис. 3. Применение метода ростковых черенков для получения новых линий сортообразцов картофеля
Fig. 3. Application of the shoot cutting method to obtain new strains of potato variety specimens

туру *in vitro* ростковые черенки образуют новую линию *in vitro*, за которой закрепляют номер протестированного клубня с указанием года введения в культуру. Для каждого сорта составляют акт введения клона в культуру или паспорт *in vitro* линии. На протяжении всего периода поддержания данных линий в коллекции *in vitro* в паспорте отражают все результаты проведенных работ, начиная с отбора базовых клонов в полевом питомнике БЗСК и завершая результатами последнего черенкования и тестирования материала на фитопатогены.

Важной особенностью при использовании метода ростковых черенков является возможность получения от одного клубня большого количества (более 100 шт.) регенерантов и возможность проведения позитивного отбора на уровне регенерирующего биоматериала. Для сортов, используемых при реализации семеноводческих программ, введение в культуру и обновление линий проводится ежегодно. Сорта, предназначенные для поддержания коллекции *in vitro*, обновляют каждые два-три года при их систематической диагностике на наличие фитопатогенной инфекции.

Использование культуры *in vitro* в технологическом процессе выращивания оздоровленного материала картофеля.

Черенкование *in vitro* является наиболее эффективным способом ускоренного размножения многих сельскохозяйственных растений. Важное значение данный метод имеет для культур с низким коэффициентом размножения, к которым относится картофель. Преимущество использования клонального микроразмножения в картофелеводстве заключается в увеличении количественного выхода размножаемых растений в искусственных лабораторных условиях для производства необходимого объема здорового растительного материала. Основным фактором, оказывающим влияние на результативность

процесса клонального микроразмножения, является генотип исходного растения. Культурный картофель (*Solanum tuberosum* L.) обладает значительным морфогенетическим потенциалом и, следовательно, растения этого вида проявляют высокую регенерационную способность в культуре *in vitro*. В пределах вида некоторые генотипы размножаются легче, чем другие. Соответственно, в культуре *in vitro* сорта картофеля растут и развиваются по-разному. Различия между генотипами заключаются не только во времени их регенерации, но и в количественных характеристиках сформированных микрорастений, различающихся по числу междоузлий, стеблей и степени развития корневой системы. Большое влияние на способность к морфогенезу, несомненно, оказывает и возраст экплантов. Растения на ювенильном этапе обладают более высоким морфогенетическим потенциалом, чем «взрослые» микрорастения.

Главным преимуществом применения ускоренного клонального микроразмножения бесспорно является тиражирование биоматериала и производство необходимых его объемов в кратчайшие сроки. Динамику формирования регенерантов в культуре в большинстве случаев оценивают через каждые семь суток после размещения экплантов на новую питательную среду (Fedorova et al., 2012; Erastova, Fedorova, 2009). Морфогенез растений *in vitro* зависит и от сортовых особенностей, поскольку не все сорта способны сформировать «взрослые» регенеранты за 21 день (Khadiga et al., 2015; Koleva Gudeva et al., 2012; Venkatasalam et al., 2013; saljooghianpour, 2017; Rocha et al., 2015).

Согласно разработанной в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха методике, рекомендуется проводить оценку динамики роста и развития микрорастений сортов по достижению трех основных фаз: интенсивного роста – 2-3 междоузлия, замедленного роста – 4-6 междоузлий (стандартный размер) и естественного отмирания – физиологическое старение (Рис. 4).

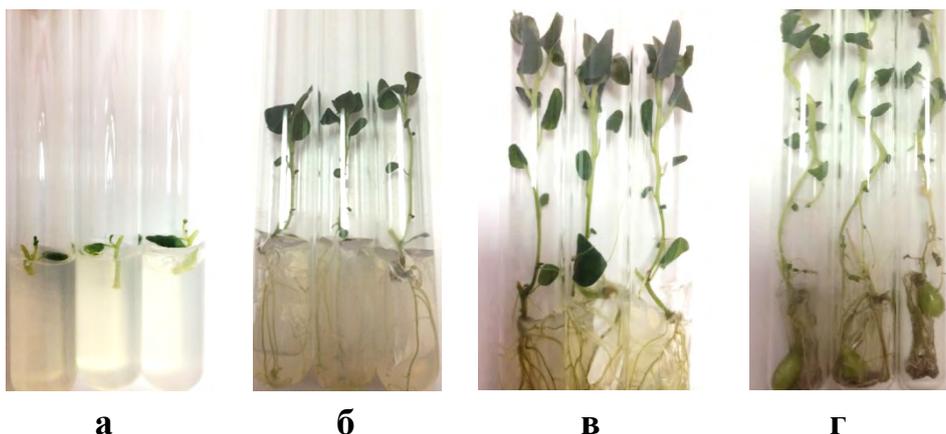


Рис. 4. Фазы роста и развития растений в *in vitro* культуре
 а) прорастание, б) 2-3 междоузлия, в) 4-6 междоузлий, г) физиологическое старение

Fig. 4. Phases of growth and development of plants in *in vitro* culture
 а) germination, б) 2-3 internodes, в) 4-6 internodes, г) physiological aging

Метод биоинкапсуляции микрочеренков для краткосрочного хранения *in vitro* материала.

Поддержание коллекции сортов в культуре *in vitro* связано с существенными материальными затратами, включающими культивирование микрорастений и их систематическое тестирование современными лабораторными методами. Инновационным способом, обеспечивающим надежную сохранность биоматериала в культуре ткани, является его инкапсуляция. Разработанная в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха инновационная технология краткосрочного хранения микрочеренков картофеля в свободном от инфекций состоянии в виде биокапсул

позволяет существенно сократить затраты на поддержание активной (рабочей) коллекции в виде растущих растений в фитотронах (Oves, 2021; Oves et al., 2015).

Данный способ консервации микрочеренков в культуре *in vitro* предполагает хранение биоматериала в специальных капсулах. Выделенные экспланты (сегменты микрорастений с пазушными почками размером 3-4 мм) помещают в специализированный питательный раствор на основе альгината натрия. В качестве инкапсулируемых эксплантов используют сегменты микрорастений с пазушными почками размером 3-4 мм. В результате химического соединения растворов на основе альгината натрия и CaCl_2 образуется капсула размером около 5 мм (рис. 5).

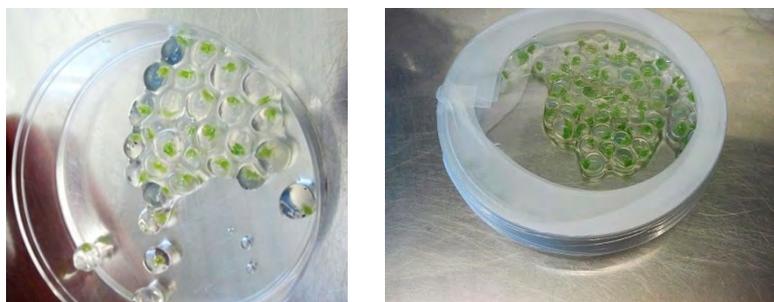


Рис. 5. Законсервированные биокапсулы

Fig. 5. Preserved biocapsules

Оптимальными условиями для хранения биокапсул являются температура 3 - 4°C и освещение 1-2 тысячи люкс. Для использования биокапсул в целях клонального микроразмножения открывают необходимое число чашек Петри с соблюдением условий стерильности и поочередно размещают капсулы в пробирки с питательной средой (рис. 6). После перемещения биокапсул на новую питательную среду пробирки с биоматериалом размещают в условиях фитотрона при 16-ти часовом фотопериоде и температуре 23-25°C.

Развитие регенерантов из биокапсул в отличие от микрочеренков происходит в 1,5-1,8 раз дольше. Улучшению процесса прорастания биокапсул способствовало применение стимулирующего надреза.

Разработанный способ консервации *in vitro* материала минимизирует затраты на поддержание коллекции, исключает снижение качественных характеристик при системном депонировании *in vitro*, сокращает периодичность черенкований и увеличивает период использования линий *in vitro*. Опыт использования данной технологии показал, что применение данного способа консервации обеспечивает сохранность эксплантов в течение одного календарного года и позволяет систематически включать биокапсулы в процесс ускоренного клонального размножения. Консервация *in vitro* материала в капсулах является новым методом хранения, обеспечивающим высокую мобильность и практичность использования сортовых ресурсов картофеля. Использование биокапсуляции для поддержания активной *in vitro* коллекции позволяет снизить общие материальные затраты в 5,9 раз по сравнению с поддержанием коллекции путем черенкования микрорастений (Oves, 2021).

Технология массового получения микроклубней с применением контейнеров.

Способность сортов картофеля образовывать микроклубни имеет важное биологическое и сельскохозяйственное значение. В качестве биоресурса микроклубни позволяют обеспечивать сохранность сортов картофеля в генетических коллекциях (Bamberg et al., 2016; Gopal, Chauhan, 2010; Kane, 2011; Rahman et al., 2013; Sahin et al., 2020), а в сельском хозяйстве микроклубни используются для выращивания семенного материала высших категорий качества (Donnelly et al., 2003; Naik, Buckseth, 2018; Nistor et al., 2010; Park et al., 2009). Преимущество выращивания микроклубней заключается в отсутствии сезонности, возможности длительного хранения, высокой практичности при транспортировке и высадке для получения мини-клубней (Kawakami et al., 2004; Lê, 1999; Sahin et al., 2020; Wróbel, 2015).

В настоящее время все большее применение обретают пластиковые сосуды для получения микроклубней. Они удобны для проведения работ в культуре ткани, и главным их преимуществом является возможность проведения различных манипуляций в период онтогенеза растений (Kolesova et al., 2017; Mamiya et al., 2020; Oves et al., 2017). Технологический процесс выращивания микроклубней *in vitro* в контейнерах начинается с черенкования микрорастений на среде Мурасиге и Скуга (MS) с 2% сахарозой и последующим размещением материала в условиях фитотрона при температуре +21-22°C и фотопериоде 16 часов.

После достижения растениями высоты 10-12 см проводят замену питательной среды (MS с 8% сахарозой)

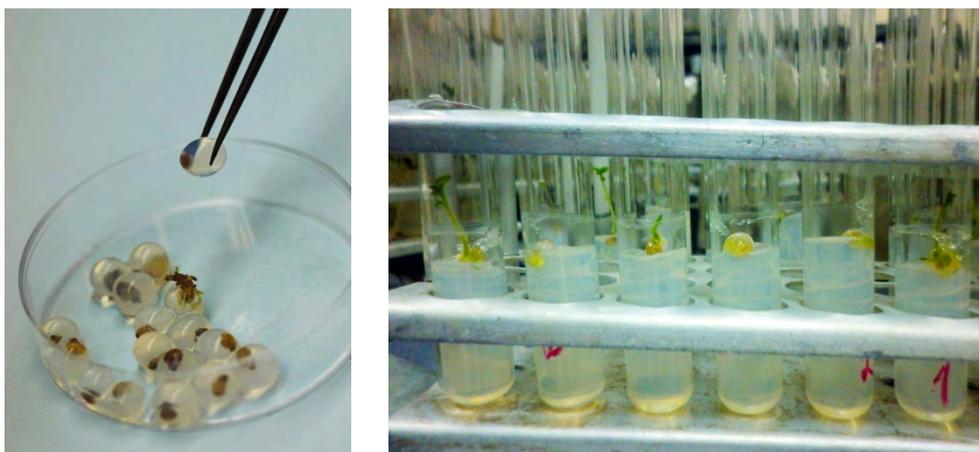


Рис. 6. Использование биокапсул для клонального микроразмножения

Fig. 6. The use of biocapsules for clonal micropropagation

с изменением условий культивирования: фотопериод – 8 часов при температуре 18-20°C и 16 часов при 10-12°C. Вторая замена питательной среды (MS с 2% сахарозой) осуществляется после формирования столонов для разви-

тия и дозревания микроклубней в условиях непрерывной темноты при температуре 18±2°C. Сбор микроклубней проводят по мере полного просыхания биомассы с определением фракционного состава (рис. 7).



Рис. 7 Элементы технологии выращивания микроклубней с применением контейнеров.

Fig. 7. The elements of microtuber growing technology in containers

Применение контейнерной технологии позволяет увеличить выход стандартной фракции микроклубней *in vitro* и, таким образом, создать дополнительный фонд исходного материала для высадки в культивационных сооружениях и производства мини-клубней.

Технологический процесс круглогодичного тиражирования *in vitro* материала.

В современной практике для реализации большинства семеноводческих программ используется исходный материал в виде микрорастений. Практичность данного метода заключается в ускоренном размножении и производстве необходимых объемов *in vitro* материала, однако такой подход характеризуется сезонностью и большими затратами труда и времени в период высадки материала в защищенный грунт. Поскольку по своим качественным характеристикам микроклубни и микрорастения абсолютно идентичны, дополнительным способом размножения *in vitro* материала является выращивание микроклубней. Преимущество метода получения микроклубней заключается в отсутствии сезонности при их выращивании и возможности длительного хранения исходного материала.

Разработанная и применяемая в ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха схема круглогодичного тиражирования сертифицированного *in vitro* материала, обеспечивает производство высококачественного исходного растительного материала в количествах, необходимых для размножения при выполнении производственной программы (рис. 8).

В процессе ускоренного клонального размножения из каждой единицы (сертифицированное микрорастение) при осуществлении четырех циклов черенкования можно производить до 250 микрорастений в год для высадки на субстрат. При использовании почвенного субстрата и высадки микрорастений в защищенный грунт при среднем коэффициенте размножения 5-6 шт., можно производить до 1,5 тыс. мини-клубней (рис. 9). В результате высадки мини-клубней в питомнике первого поколения может быть получен посадочный материал для 0,02 га. Дальнейшее размножение на третий год обеспечит закладку питомника супер-суперэлиты на площади до 0,1 га. Воспроизводство семенного материала в течение двух лет в элитном семеноводстве (выращивание суперэлиты и элиты) обеспечит высококачественным посадочным материалом площадь до 1 га для выращивания элитного картофеля.



Тиражирование
сертифицированной
партии микрорастений
(ноябрь-апрель)



Размножение и закладка
in vitro материала на
микроклубнеобразование



(май-август)



Уборка микроклубней
in vitro

(сентябрь-декабрь)



Хранение
микроклубней
in vitro

(январь-март)



Рис. 8. Схема круглогодичного тиражирования *in vitro* материала

Fig. 8. The flow chart of year-round propagation of *in vitro* material

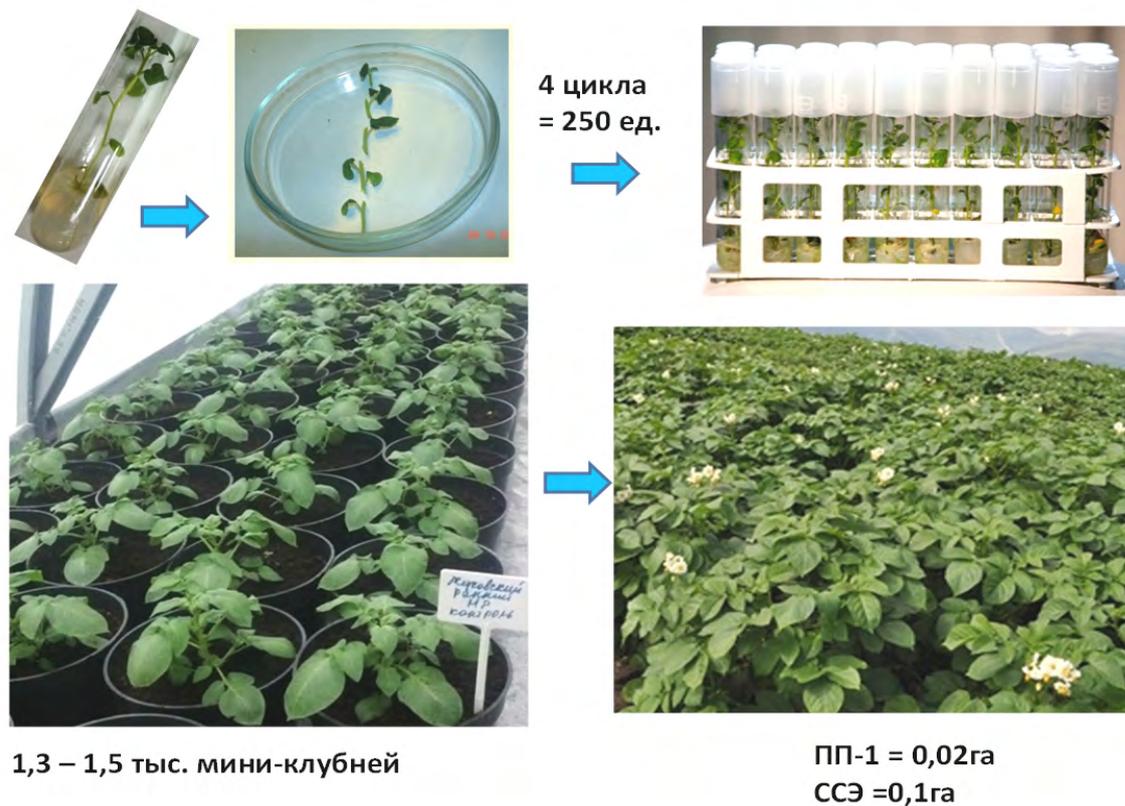


Рис. 9. Использование *in vitro* материала в оригинальном семеноводстве картофеля

Fig. 9. The use of *in vitro* material in the original potato seed breeding

В производственных условиях получения таких результатов можно достичь только при строгом соблюдении технологического процесса производства высококачественного семенного материала на каждом этапе его размножения. Нарращивание объемов производства исходного материала на первых этапах ведения оригинального семеноводства способствует увеличению площадей под качественным сертифицированным семенным материалом, что в свою очередь обеспечивает высокую урожайность оригинального и элитного семенного картофеля.

Мониторинг БЗСК на наличие фитопатогенов

Сформированная коллекция *in vitro* на основе БЗСК подлежит систематической диагностике на наличие скрытой зараженности вирусной, виroidной и бактериальной инфекциями. На биоматериале коммерческих сортов 100% тестирование линий *in vitro* проводят каждые 2-3 месяца, на коллекционных образцах – не реже одного раза в 6 месяцев.

Обеспечение гарантированного и надежного качества исходного семенного материала может быть достигнуто только на основе введения в культуру *in vitro* лучших, здоровых (свободных от фитопатогенных вирусов) исходных растений (базовых клонов), тщательно оценен-

ных в отношении их сортовой типичности и выраженности основных сортоотличительных признаков. Алгоритм поддержания БЗСК и формирования на его основе *in vitro* коллекции для выполнения объемов, удовлетворяющих потребности в оригинальном семеноводстве, представлен на рисунке 10.

Получение здорового исходного материала на основе БЗСК и его ускоренное клональное микро размножение в культуре *in vitro* позволяет с максимальной эффективностью поддерживать биологический потенциал сортов картофеля. Применяемые элементы отбора способствуют сохранению типичности сортов на том уровне, на котором они были созданы селекционерами, и позволяют производить необходимый объем пробирочного материала для оригинального семеноводства.

Предназначение коллекции БЗСК заключается в поддержании сортообразцов в свободном от фитопатогенов состоянии в полевых условиях, ежегодном введении в культуру ткани новых высокопродуктивных линий сортов картофеля, их ускоренном размножении биотехнологическими методами для дальнейшего применения в реализации семеноводческих программ. Реализация данного направления объединяет три основные составляющие: использование природно-климатических факторов северного региона и высокогорий, проведение ежегод-



Рис. 10. Алгоритм формирования и поддержания *in vitro* коллекции на основе Банка здоровых сортов картофеля

Fig. 10. Algorithm of formation and maintenance of *in vitro* collection on the basis of the Bank of Healthy Potato Varieties

ного непрерывного улучшающего отбора в питомниках БЗСК и создание на этой основе новых высокопродуктивных линий *in vitro*. Использование вышеперечисленных факторов позволяет сохранить сортовую идентичность и биологический потенциал сортов картофеля в процессе репродуцирования (Oves, Zhevara, 2015; Oves et al., 2020; Oves, Nikolaeva, 2021).

В настоящее время в свободном от фитопатогенов состоянии в полевой и в *in vitro* коллекциях поддерживается более 200 сортов и гибридов картофеля. На основании созданной *in vitro* коллекции организовано обеспечение оздоровленным исходным материалом региональных научных учреждений страны и агропредприятий. Ежегодно из *in vitro* материала на основе БЗСК производится около 3 млн. мини-клубней. Сертифицированный *in vitro* материал используется в 9-ти из 12 регионов РФ: Северном, Северо-Западном, Центральном, Волго-Вятском, Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском, Средне Волжском, Нижневолжском и Дальневосточном.

Актуальной также является возможность вовлечения свободных от вирусов генотипов в качестве родительских форм в селекционный процесс. Ведение гибридизации на основе использования «здоровых» генотипов является залогом успеха большинства европейских селекционных компаний. Использование сортов картофеля из БЗСК позволит повысить результативность проводимых скрещиваний, увеличить количественный выход гибридных семян в исследуемых комбинациях и повысить эффективность проводимых отборов в гибридных питомниках.

Таким образом, формирование и поддержание полевой и *in vitro* коллекций БЗСК является эффективным методом сохранения сортовых биоресурсов картофеля. Хранение сортовых ресурсов на основе БЗСК является перспективным направлением не только для решения актуальных задач семеноводства картофеля, но и использования в качестве исходного материала для реализации региональных селекционных программ.

References/Литература

- Ali S., Khan N., Nouroz F., Erum S., Nasim W., Shahid M.A. *In vitro* effects of GA₃ on morphogenesis of CIP potato explants and acclimatization of plantlets in field. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2018;54(1):104-111. DOI: 10.1007/s11627-017-9874-x
- Anisimov B.V., Oves E.V. Bank of healthy potato cultivars is most important component in stock seed growing. *Potatoes and vegetables*. 2011;(6):5-7. [in Russian] (Анисимов Б.В., Овэс Е.В. Банк здоровых сортов картофеля – важнейший элемент в системе оригинального семеноводства. *Картофель и овощи*. 2011;(6):5-7).
- Bamberg J.B., Martin M.W., Abad J., Jenderek M.M., Tanner J., Donnelly D.J., Nassar A.M.K., Veilleux R.E., Novy R.G. *In vitro* technology at the US Potato Genebank. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 2016;52(3):213-225. DOI: 10.1007/s11627-016-9753-x
- Basiev S.S. Improvement of the elements of potato cultivation and storage technology for the conditions of the steppe, forest-steppe and mountain zones of the North Caucasus: on the example of the Republic of North Ossetia-Alania (Sovershenstvovaniye elementov tekhnologii vozdelvaniya i khraneniya kartofelya dlya usloviy stepnoy, lesostepnoy i gornoj zon Severnogo Kavkaza: na primere respublik Severnaya Osetiya-Alaniya): [dissertation]. Vladikavkaz; 2009. [in Russian] (Басиев С.С. Совершенствование элементов технологии возделывания и хранения картофеля для условий степной, лесостепной и горной зон Северного Кавказа: на примере республики Северная Осетия-Алания: автореф. дисс. д-ра с.-х. наук. Владикавказ; 2009).
- Davudov M.D. The spread of potato viral diseases in the highlands. *Plant Protection and Quarantine*. 2020;10:45-46. [in Russian] (Давудов М.Д. Распространение вирусных болезней картофеля в условиях высокогорья. *Защита и карантин растений*. 2020;10:45-46).
- Donnelly D.J., Coleman W.K., Coleman S.E. Potato microtuber production and performance: A review. *American Journal of Potato Research*. 2003;80(2):103-115. DOI: 10.1007/BF02870209
- Erastova M.A., Fedorova Yu.N. Study of the process of potato plant rhizogenesis *in vitro* (Izucheniye protsessa rizogeneza rasteniy kartofelya *in vitro*). *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2009;5(55):21-23. [in Russian] (Эрастова М.А., Федорова Ю.Н. Изучение процесса ризогеиза растений картофеля *in vitro*. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2009;5(55):21-23).
- Fedorova Yu.N., Lebedeva N.V., Kononenko A.N. Optimization of potato plants production in *in vitro* culture (Optimizatsiya polucheniya rasteniy kartofelya v kulture *in vitro*). *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2012;(28):15-17. [in Russian] (Федорова Ю.Н., Лебедева Н.В., Кононенко А.Н. Оптимизация получения растений картофеля в культуре *in vitro*. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2012;(28):15-17).
- Gerieva F.T., Bolieva Z.A., Basiev S.S. Aphids – vectors of viral infection of seed potatoes in the North Caucasus. *Plant Protection and Quarantine*. 2014;(12):18-19. [in Russian] (Гериева Ф.Т., Болиева З.А., Басиев С.С. Тли – переносчики вирусной инфекции семенного картофеля на Северном Кавказе. *Защита и карантин растений*. 2014;(12):18-19).
- Gopal J., Chauhan N.S. Slow growth *in vitro* conservation of potato germplasm at low temperature. *Potato Research*. 2010;53(3):141-149. DOI: 10.1007/s11540-010-9158-x
- Kane M.E. Micropropagation of potato by node culture and microtuber production. In: *Plant Tissue Culture Concepts and Laboratory Exercises*. R.N. Trigiano, D.J. Gray (eds.). Boca Raton: CRC/Taylor & Francis; 2011. p.207-212.
- Kardanova I.S., Etdzaeva K.T., Oves E.V., Anisimov B.V. Application of different growth technologies of minitubers in mountain regions. In: *Potato-growing: proceedings*. Minsk: RUE “Research and Practical Center of National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing”; 2018. p.272-279. [in Russian] (Карданова И.С., Етдзаева К.Т., Овэс Е.В., Анисимов Б.В. Применение различных технологий выращивания мини-клубней в условиях высокогорья. В кн.: *Картофелеводство: сборник научных трудов*. Минск: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и плодовоощеводству»; 2018. С.272-279).
- Kawakami J., Iwama K., Jitsuyama Y., Zheng X. Effect of cultivar maturity period on the growth and yield of potato plants grown from microtubers and conventional seed tubers. *American Journal of Potato Research*. 2004;81(5):327-333. DOI: 10.1007/BF02870178
- Khadiga G.A., Rasheid S.M., Mutasim M.K. Micro tuber induction of two potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties namely, Almera and Diamant. *International Research Journal of Biological Sciences*. 2015;4(3):84-89. DOI: 10.13140/RG.2.1.4369.1680
- Kolesova O.S., Oves E.V., Boyko V.V., Gaitova N.A., Fenina N.A. Dormant period and safety of potato microtubers *in vitro* under various temperature regimes of storage. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2017;31(6):47-50. [in Russian] (Колесова О.С., Овэс Е.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А. Продолжительность периода покоя и сохранность микроклубней картофеля *in vitro* при различных температурных режимах. *Достижение науки и техники АПК*. 2017;31(6):47-50). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29822618> [дата обращения: 13.01.2022].
- Koleva Gudeva L., Mitrev S., Trajkova F., Ilievski M. Micropropagation of potato *Solanum tuberosum* L. *Electronic Journal of Biology*. 2012;8(3):45-49. Available from: <https://ejbio.imedpub.com/micropropagation-of-potato-solanum-tuberosum-l.pdf> [accessed Nov. 29, 2021].
- Lê C.L. *In vitro* microtuberization: an evaluation of culture conditions for the production of virus-free seed potatoes. *Potato Research*. 1999;42(3-4):489-498. DOI: 10.1007/BF02358165
- Mamiya K., Tanabe K., Onishi N. Production of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers using plastic culture bags. *Plant Biotechnology*. 2020;37(2):233-238. DOI: 10.5511/plantbiotechnology.20.0312a
- Mastenbroek I. The system of seed potato production in the Netherlands. In: *Materials of the Belarusian-Dutch seminar on potato growing: 1998 March 12-13; Republic of Belarus, Minsk, Samokhvalovichy. Minsk; 1998. p.36-41. [in Russian] (Мастенбрук И. Система производства семенного картофеля в Голландии. В кн.: *Материалы белорусско-нидерландского семинара по картофелеводству; 12-13 марта 1998 г.; Республика Беларусь, Минск, Самохваловичи*. Минск; 1998 С.36-41).*
- Menokhov M.S. Variability of productivity of potato varieties of different groups of ripeness in the conditions of the Altai Mountains (Izmenchivost produktivnosti sortov kartofelya raznykh grupp spelosti v usloviyakh gornogo Altaya): [dissertation]. Barnaul; 2012. [in Russian] (Менохов М.С. Изменчивость продуктивности сортов картофеля разных групп спелости в условиях горного Алтая: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул; 2012).
- Naik P.S., Buckseth T. Recent advances in virus elimination and tissue culture for quality potato seed production. In: *Biotechnologies of Crop Improvement*. S. Gosal, S. Wani (eds). Vol. 1. Springer, Cham; 2018. p.131-158. DOI: 10.1007/978-3-319-78283-6_4
- Nistor A., Campeanu G., Atanasiu N., Chiru N., Karácsonyi D. Influence of potato genotypes on “*in vitro*” production of microtubers. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010;15(3):5317-5324.
- Oves E.V. Biotechnological foundations for improving the process of obtaining and propagation the source material in the original potato seed production (Biotekhnologicheskiye osnovy sovershenstvovaniya protsessa polucheniya i razmnozheniya iskhodnogo materiala v originalnom semenovodstve kartofelya): [dissertation]. Moscow; 2021. [in Russian] (Овэс Е.В. Биотехнологические основы совершенствования процесса получения и размножения исходного материала в оригинальном семеноводстве картофеля: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Москва; 2021).
- Oves E.V., Anisimov B.V., Uskov A.I., Simakov E.A., Zhevora S.V., Boyko V.V., Gaitova N.A., Fenina N.A., Shmyglya I.V. Methodological recommendations for replication of *in vitro* material for original potato seed production (Metodicheskiye rekomendatsii po tirazhirovaniyu *in vitro* materiala dlya originalnogo semenovodstva): [dissertation]. Minsk; 2021. [in Russian] (Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Усков А.И., Симакوف Е.А., Жевора С.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А., Шмыглыа И.В. Методические рекомендации по тиражированию *in vitro* материала для оригинального семеноводства: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск; 2021).

- vodstva kartofelya). Moscow: A.G. Lorkh All-Russian Research Institute of Potato Farming; 2017. [in Russian] (Овэс Е.В., Анисимов Б.В., Усков А.И., Симаков Е.А., Жевора С.В., Бойко В.В., Гаитова Н.А., Фенина Н.А., Шмыгля И.В. Методические рекомендации по тиражированию *in vitro* материала для оригинального семеноводства картофеля. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха; 2017).
- Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., Fenina N.A. The results of the selection of basic potato clones in the European North of the Russian Federation and highlands of the North Caucasus. *Zemledelie*. 2020;(4):29-34. [in Russian] (Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А., Фенина Н.А. Результаты отбора базовых клонов картофеля в условиях Европейского Севера и высокогорья Северного Кавказа. *Земледелие*. 2020;(4):29-32). DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10408
- Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., Kardanova I.S., Etdzaeva K.T. The influence of environmental factors of the northern and high-mountain territories on the formation of the yield of tubers of early-maturing potato varieties. *Journal of Complementary Medicine Research*. 2021;12(1):155-159. DOI: 10.5455/jcmr.2021.12.01.21
- Oves E.V., Nikolaeva E.V. Ecological factors of the northern region and highland zone influence on yield formation of early maturing potatoes varieties. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2021;(4):35-39. [in Russian] (Овэс Е.В., Николаева Е.В. Влияние экологических факторов северного региона и высокогорной зоны на формирование урожая раннеспелых сортов картофеля. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2021;(4):35-39). DOI: 10.30850/vrsn/2021/4/35-39
- Oves E.V., Zhevora S.V. Modern ways to save potato variety resources. *Potato and vegetables*. 2015;(12):21-23. [in Russian] (Овэс Е.В., Жевора С.В. Современные способы сохранения сортовых ресурсов картофеля. *Картофель и овощи*. 2015;(12):21-23).
- Oves E.V., Zhevora S.V., Gaitova N.A. Innovative way of potato *in vitro* micro cuttings storage in biocapsules. *Works of the Kuban State Agrarian University*. 2015;4(55):191-196. [in Russian] (Овэс Е.В., Жевора С.В., Гаитова Н.А. Инновационный способ хранения *in vitro* микрочеренков картофеля в биокапсулах. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015;4(55):191-196).
- Park S.W., Jeon J.H., Kim H.S., Hong S.J., Aswath C., Joung H. The effect of size and quality of potato microtubers on quality of seed potatoes in the cultivar 'Superior'. *Scientia Horticulturae*. 2009;120(1):127-129. DOI:10.1016/j.scienta.2008.09.004
- Polukhin N.I., Bokina I.G., Kuchmin A.P., Naranov V.N. The possibility of using the mountain regions of the Altai Republic for growing healthy potato source material (Vozmozhnost ispolzovaniya vysokogornyykh rayonov Respubliki Altai dlya vyrashchivaniya ozdorovlennogo iskhodnogo materiala kartofelya). *Biodiversity, ecological issues of Gorny Altai and its neighbouring regions: present, past, and future: materials of the II International Conference; 2010 September 20–24; Russia, Altai Republic, Gorno-Altaiisk; Gorno-Altaiisk: Gorno-Altaiisk State University Press; 2010. p.227-230. [in Russian] (Полухин Н.И., Бокина И.Г., Кучмин А.П., Наранов В.Н. Возможность использования высокогорных районов Республики Алтай для выращивания оздоровленного исходного материала картофеля. В кн.: Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы II Международной конференции; 20–24 сентября 2010 г.; Россия, Республика Алтай, Горно-Алтайск. Горно-Алтайск: Горно-Алтайский государственный университет; 2010. С. 227-230).*
- Rahman M.H., Haider S.A., Hossain M., Islam R. Involvement of jasmonic acid and light periods on potato microtuber growth response. *International Journal of Biosciences*. 2013;3(5):87-94. DOI: 10.12692/ijb/3.5.87-94
- Rocha P.S.G., Oliveira R.P. de, Scivittaro W.B. New light sources for *in vitro* potato micropropagation. *Bioscience journal*. 2015;31(5):1312-1318. DOI: 10.14393/BJ-V31N5A2015-26601
- Sahin N.K., Benlioglu B., Ahmed H.A.A., Uranbey S. Effects of salt stress on expression level of StDREB2 transcription factor and microtuberization of different potato genotypes. *Journal of Animal and Plant Science*. 2020;30(5):1246-1251. DOI: 10.36899/japs.2020.5.0142
- saljooghianpour M. Evaluation of BAP Effects on plantlets micro tuberization of five potato cultivars. *Journal of Applied Life Sciences International*. 2017;12(3):1-6. DOI: 10.9734/JALSI/2017/34689
- Serderov V.K. Influence of climatic terms of highland on stability of potato to virosiss. *Agrarian science*. 2019;(3):73-75. [in Russian] (Сердеров В.К. Влияние климатических условий высокогорья на устойчивость картофеля к вирусным болезням. *Аграрная наука*. 2019;(3):73-75). DOI: 10.32634/0869-8155-2019-326-3-73-75
- Serderov V.K., Atamov B.K., Serderova D.V. A seed-grower of potato is in mountain terms of Republic of Daghestan. *Gornoye sel'skoye khozyaystvo = Mountain agriculture*. 2019;(4):94-98. [in Russian] (Сердеров В.К., Атамов Б.К., Сердерова Д.В. Семеноводство картофеля в горных условиях Республики Дагестан. *Горное сельское хозяйство*. 2019;(4):94-98). DOI: 10.25691/GSH.2019.4.014
- Venkatasalam E.P., Sood R., Pandey K.K., Thakur V., Sharma A.K., Singh B.P. Development of low cost technology for *in vitro* mass multiplication of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 2013;8(49):6375-6382. DOI: 10.5897/AJAR2013.7155
- Wróbel S. Assessment of potato microtuber and *in vitro* plantlet seed multiplication in field conditions – Growth, development and yield. *Field Crops Research*. 2015;178:26-33. DOI: 10.1016/J.FCR.2015.03.011

Информация об авторах

Елена Васильевна Овэс, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, заведующая Отделом меристемно-тканевых технологий и БЗСК, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская область, Люберцы, Красково, ул. Лорха, 23, oveselena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5122-9583>

Наталья Александровна Гаитова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Отдел меристемно-тканевых технологий и БЗСК, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская область, Люберцы, Красково, ул. Лорха, 23, gaitova.n.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8543-1779>

Ольга Алексеевна Шишкина, научный сотрудник, Отдел меристемно-тканевых технологий и БЗСК, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051 Россия, Московская область, Люберцы, Красково, ул. Лорха, 23, olga2018o@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4366-4734>

Information about the authors

Elena V. Oves, Dr. Sci. (Agric.), Deputy Director for Science, Head of the Department of Meristem and Tissue Technologies and of the Bank of Healthy Potato Varieties, Russian Potato Research Centre, 23, Lorkh Str., Kraskovo, Moscow region, Lyubertsy 140051, Russia, oveselena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5122-9583>

Natalia A. Gaitova, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher at the Department of Meristem and Tissue Technologies and at the Bank of Healthy Potato Varieties, Russian Potato Research Centre, 23, Lorkh Str., Kraskovo, Moscow region, Lyubertsy 140051, Russia, gaitova.n.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8543-1779>

Olga A. Shishkina, Researcher at the Department of Meristem and Tissue Technologies and at the Bank of Healthy Potato Varieties, Russian Potato Research Centre, 23, Lorkh Str., Kraskovo, Moscow region, Lyubertsy 140051, Russia, olga2018o@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4366-4734>, olga2018o@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.03.2022; одобрена после рецензирования 23.03.2022; принята к публикации 29.03.2022

The article was submitted 09.03.2022; approved after reviewing 23.03.2022; accepted for publication on 29.03.2022.

Краткое сообщение
УДК 575:631.52:633.1
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-03



К юбилею выдающегося селекционера, вице-президента ВОГиС, академика РАН Людмилы Андреевны Беспаловой

А. А. Нижников^{1,2,3}, Е. К. Хлесткина^{1,4}, И. А. Тихонович^{1,2,3}

¹Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Санкт-Петербург, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Константиновна Хлесткина, director@vir.nw.ru

2 апреля 2022 года юбилей у академика РАН Людмилы Андреевны Беспаловой, одного из крупнейших селекционеров пшеницы и тритикале, автора множества сортов, внедренных в сельскохозяйственную практику в нашей стране и за рубежом, выращиваемых на площадях в миллионы гектаров, что вносит значимый вклад в решение глобальной проблемы продовольственной безопасности. Людмила Андреевна Беспалова является признанным классиком в области селекции и семеноводства пшеницы, ею опубликовано более 300 научных работ, получено около 120 авторских свидетельств и патентов. Академик Беспалова – яркий представитель отечественных селекционеров, являющийся продолжателем традиций одной из крупнейших научных школ и принимающий активное участие в жизни генетико-селекционного сообщества нашей страны, обучении молодых специалистов, повышении престижа и востребованности профессии селекционера.

Ключевые слова: Людмила Андреевна Беспалова, пшеница, тритикале, генетика, селекция

Для цитирования: Нижников А.А., Хлесткина Е.К., Тихонович И.А. К юбилею выдающегося селекционера, вице-президента ВОГиС, академика РАН Людмилы Андреевны Беспаловой. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):42-46. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-03

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Нижников А.А., Хлесткина Е.К., Тихонович И.А., 2022

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o3

On the anniversary of Lyudmila Andreevna Beshpalova, an outstanding breeder, Vice President of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS)

Anton A. Nizhnikov^{1,2,3}, Elena K. Khlestkina^{1,4}, Igor A. Tikhonovich^{1,2,3}¹ Vavilov Society of Geneticists and Breeders, St. Petersburg, Russia² All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia³ St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia⁴ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Elena K. Khlestkina, director@vir.nw.ru

April 2, 2022 marks the anniversary of Lyudmila Andreevna Beshpalova, an Academician of the Russian Academy of Sciences, one of the prominent wheat and triticale breeders, the author of many varieties introduced into agricultural practice both in our country and abroad, which are cultivated in areas encompassing millions of hectares, thus making a significant contribution to solving the global food security problem. Lyudmila A. Beshpalova is a recognized classic in the field of wheat breeding and seed production, she has published over 300 scientific papers, and received about 120 copyright certificates and patents. Acad. Beshpalova is a bright representative of domestic breeders, who maintains the traditions of one of the largest scientific schools and takes an active part in the life of the community of geneticists and breeders in this country by training young specialists and increasing the prestige of and demand for the profession of a breeder.

Keywords: Lyudmila Andreevna Beshpalova, wheat, triticale, genetics, breeding

For citation: Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K., Tikhonovich I.A. On the anniversary of Lyudmila Andreevna Beshpalova, an outstanding breeder, Vice President of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):42-46. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-o3

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer.

Выдающийся селекционер академик РАН Людмила Андреевна Беспалова хорошо известна коллегам в России и за рубежом как один из лидеров отечественной селекции пшеницы и тритикале, автор более ста пятидесяти сортов этих культур, обладающих уникальными характеристиками, около 130 из которых внесены в Государственные реестры селекционных достижений. Сорты зерновых, созданные под руководством Людмилы Андреевны Беспаловой, выращивают на площадях в миллионы гектаров не только в России, но и в Азербайджане, Армении, Грузии, Киргизии, Таджикистане, Туркмени, Турции, Украине и других странах (URL: <http://www.ras.ru/>). Л.А. Беспалова с соавторами проводят передовые исследования по разработке новых технологий селекции и созданию с их помощью новых сортов твердой и мягкой пшеницы, ярового и озимого тритикале, обладающих уникальными хозяйственно-ценными свойствами, включая устойчивость к наиболее значимым заболеваниям злаковых (таким как фузариоз колоса), высокое качество зерна, уникальные морфологические характеристики, такие как короткостебельность и полукарликовость, скороспелость, морозостойкость, засухоустойчивость и многие другие (Bespalova et al., 2021; Bespalova et al., 2017). Уровень доверия к сортам селекции академика Беспаловой крайне высок, что подтверждается их востребованностью у ведущих производителей сельскохозяйственной продукции как нашей страны, так и зарубежья. Большой интерес представляют работы Л.А. Беспаловой с коллегами по реинтродукции в культуру полбы (*Triticum dicoccum*) и пшеницы шарозерной (*T. sphaerococcum*), обладающих высоким адаптационным потенциалом и качеством зерна (Shurovenkova et al.,



Рисунок. Вице-президент ВОГиС академик Л.А. Беспалова, Санкт-Петербург, 24 июня 2015 г., заседание Центрального Совета ВОГиС

Figure. Acad. Lyudmila A. Bespalova, Vice-President of VOGiS, St. Petersburg, June 24, 2015, meeting of the VOGiS Central Council

2009; Borovik et al., 2017). В последнее время Людмила Андреевна с коллегами развивают исследования с применением молекулярно-генетических методов, что позволяет еще глубже проникнуть в механизмы формирования хозяйственно ценных признаков и использовать эти знания в селекционном процессе (Bazhenov et al., 2021; Davouyan et al., 2019).

Творческий путь Людмилы Андреевны начался в стенах Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (ныне – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева), где будущий академик прошла обучение по специальности «Селекция и семеноводство». Дальнейшее развитие научной карьеры Л.А. Беспаловой неразрывно связано с одним из лидеров мировой селекции и семеноводства зерновых культур – Краснодарским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства (КНИИСХ, ныне – Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко), где Людмила Андреевна прошла путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале. В КНИИСХ Л.А. Беспалова работала под руководством дважды Героя Социалистического Труда, академика Павла Пантелеймоновича Лукьяненко и академика Юрия Михайлович Пучкова. Работа под руководством ведущих селекционеров страны выработала у Л.А. Беспаловой способность к критическому мышлению и труду с постоянно высокими нагрузками, большую требовательность к себе и членам научного коллектива, чуткость и внимательность – те качества, которые ценят в Людмиле Андреевне окружающие ее коллеги. Продолжая традиции своих учителей, Людмила Андреевна сама является замечательным педагогом и учителем. Под ее руководством защитили диссертации два доктора и около двадцати кандидатов наук.

Первостепенные научные достижения Людмилы Андреевны Беспаловой отмечены высокими наградами и званиями государственного значения: она – кавалер ордена Трудового Красного Знамени, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик Российской академии наук, профессор (URL: <http://www.ras.ru/>).

Особое внимание и уважение, которое Краснодарский край оказывает своему выдающемуся ученому-селекционеру, подчеркнуто званием Героя труда Кубани, которое носит Людмила Андреевна Беспалова, а также тем, что ей была оказана честь пронести по улицам Краснодара олимпийский факел во время эстафеты Олимпийского огня к XXII зимним Олимпийским играм 2014 года в Сочи.

Людмила Андреевна Беспалова на протяжении длительного времени уделяет большое внимание развитию Отечественного генетико-селекционного сообщества. Она принимает активное участие в работе Центрального совета ВОГиС, и с 2014 года является Вице-президентом Вавиловского общества генетиков и селекционеров (Рисунок). Л.А. Беспалова ведет важную работу в составе редакционных коллегий ряда журналов, включая «Вави-

ловский журнал генетики и селекции» и «Сельскохозяйственная биология».

Людмила Андреевна регулярно отмечает первостепенную значимость роли генетики в селекционных исследованиях и важность развития селекционного образования в высших учебных заведениях. Блестящие доклады Л.А. Беспаловой на крупнейших генетических мероприятиях, таких как Съезды Вавиловского общества генетиков и селекционеров (Bespalova, 2019), всегда привлекают большое внимание специалистов и запоминаются молодежи. За значительный вклад в работу генетико-селекционного сообщества нашей страны академик Л.А. Беспалова награждена юбилейной медалью «50 лет ВОГиС».

Президиум ВОГиС от лица генетико-селекционного сообщества России выражает Людмиле Андреевне Беспаловой огромную благодарность, признательность и уважение, желает новых выдающихся достижений на благо Отечественной селекции и генетики, развития и процветания возглавляемой ею ведущей научной школы, талантливой молодежи, вдохновения и много сил для тяжелой, но такой важной для всей нашей страны работы.

References/Литература

- Bespalova L.A., Romanenko A.A., Kudryashov I.N., Ablova I.B., Mudrova A.A., Kovtunen V.Ya. et al. Varieties of wheat and triticale: catalogue (Sorta pshenitsy i tritikale: katalog). Krasnodar: EDVI; 2021. [in Russian] (Беспалова Л.А., Романенко А.А., Кудряшов И.Н., Аблова И.Б., Мудрова А.А., Ковтуненко В.Я. и др. Сорты пшеницы и тритикале: каталог. Краснодар: ЭДВИ; 2021). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46213527_49848458.pdf [дата обращения: 09.01.2022].
- Bespalova L.A., Romanenko A.A., Kudryashov I.N., Ablova I.B., Mudrova A.A., Kovtunen V.Ya. et al. Varieties of wheat and triticale of the P.P. Lukyanenko Krasnodar Research Institute of Agriculture: catalogue (Sorta pshenitsy i tritikale Krasnodarskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta selskogo khozyaystva imeni P.P. Lukyanenko: katalog). Krasnodar: EDVI; 2017. [in Russian] (Беспалова Л.А., Романенко А.А., Кудряшов И.Н., Аблова И.Б., Мудрова А.А., Ковтуненко В.Я. и др. Сорты пшеницы и тритикале Краснодарского НИИСХ имени П.П. Лукьяненко: каталог. Краснодар: ЭДВИ; 2017).
- Bespalova L.A. The contribution of genetics to "green breakthroughs" in breeding (Vklad genetiki v "zelenye proryvy" v selektsii). In: VII International Congress and Associate Symposiums of Vavilov Society of Geneticists and Breeders on the 100th Anniversary of the Department of Genetics of Saint Petersburg State University: book of abstracts of the International Congress; 2019 June 18-22; St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: WM Publishing Ltd; 2019. p.423. [in Russian] (Беспалова Л.А. Вклад генетики в «зеленые прорывы» в селекции. В кн.: VII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы: сборник тезисов Международного Конгресса; 18-22 июня 2019 г.; Санкт-Петербург, Россия. Санкт-Петербург: ООО Издательство ВВМ; 2019. С.423).
- Borovik A.N., Bespalova L.A., Miroshnichenko T.Yu., Tsvirinko V.G., Ponomarev D.A., Belyakova A.Yu., Goldvarg B.A. Spherical winter wheat: breeding results and prospects for use in arid conditions of Kalmykia (Pshenitsa sharozornaya ozimaya: rezultaty selektsii i perspektivy ispolzovaniya v zasushlivykh usloviyakh Kalmykii). In: Breeding and seed production – the basis of field productivity: a collection of scientific papers of the scientific and practical conference (Selektsiya i semenovodstvo – osnova produktivnosti poley: sbornik nauchnykh trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii); 2017 April 19; Elista, Russia. Krasnodar: EDVI; 2017. p.69-78. [in Russian] (Боровик А.Н., Беспалова Л.А., Мирошниченко Т.Ю., Цвирирко В.Г., Пономарев Д.А., Белякова А.Ю., Гольдварг Б.А. Пшеница шарозёрная озимая: результаты селекции и перспективы использования в засушливых условиях Калмыкии. В кн.: Селекция и семеноводство – основа продуктивности полей: сборник научных трудов научно-практической конференции; 19 апреля 2017 г.; Элиста, Россия. Краснодар: ЭДВИ; 2017. С.69-78).
- Bazhenov M.S., Chernook A.G., Bespalova L.A., Gritsay T.I., Polevikova N.A., Karlov G.I., Nazarova L.A., Divashuk M.G. Alleles of the GRF3-2A Gene in Wheat and Their Agronomic Value. International Journal of Molecular Sciences. 2021;22(22):12376. DOI: 10.3390/ijms222212376
- Davoyan E.R., Bespalova L.A., Davoyan R.O., Agaeva E.V., Bukreeva G.I., Zubanova Yu.S., Mikov D.S., Boldakov D.M. Allelic variants for Waxy genes in common wheat lines bred at the Lukyanenko National Grain Center. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(7):910-915. [in Russian] (Давоян Э.Р., Беспалова Л.А., Давоян Р.О., Агаева Е.В., Букреева Г.И., Зубанова Ю.С., Миков Д.С., Болдаков Д.М. Изучение линий мягкой пшеницы селекции Национального центра зерна им. П.П. Лукьяненко по аллельным вариантам генов Waxy. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(7):910-915). DOI: 10.18699/VJ19.566
- Shurovenkova L.I., Anfilova N.A., Merezhko A.F., Bespalova L.A., Kudryashov I.N., Vasiliev A.V., Bukreeva G.I., Borovik A.N., Mitrofanova O.P. Emmer wheat (Triticum turgidum L. subsp. dicoccum (Schränk ex Schubl.) Thell). 'Runo' variety (Pshenitsa polba (Triticum turgidum L. subsp. dicoccum (Schränk ex Schubl.) Thell). Sort 'Runo'). Russian Federation; breeding achievement patent number: 4782; 2009. [in Russian] (Шуровенкова Л.И., Анфилова Н.А., Мережко А.Ф., Беспалова Л.А., Кудряшов И.Н., Васильев А.В., Букреева Г.И., Боровик А.Н., Митрофанова О.П. Пшеница полба (Triticum turgidum L. subsp. dicoccum (Schränk ex Schubl.) Thell). Сорт 'Руно'. Российская Федерация; патент на селекционное достижение RU 4782; 2009). Russian Academy of Sciences: [official portal]. [in Russian] (Российская академия наук: [официальный портал]). URL: <http://www.ras.ru/> [дата обращения: 09.01.2022].

Информация об авторах

Антон Александрович Нижников, доктор биологических наук, заведующий лабораторией №7 Протеомики надорганизменных систем, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3; доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; ученый секретарь, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3, a.nizhnikov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; член Президиума ЦС, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3; director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Игорь Анатольевич Тихонович, доктор биологических наук, академик РАН, профессор, декан биологического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3; президент ВОГиС, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3, igor.tikhonovich49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-854X>

Information about the authors

Anton A. Nizhnikov, Dr. Sci. (Biology), Head of Laboratory for Proteomics of Supra-Organismal Systems, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, Podbelsky highway, Pushkin, Saint-Petersburg 196608, Russia; Associate Professor, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya embankment, Saint-Petersburg 199034, Russia; Scientific Secretary, Vavilov Society of Geneticists and Breeders, 3, Podbelsky highway, Pushkin, Saint-Petersburg 196608, Russia, nizhnikov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia; member of the Presidium, Vavilov Society of Geneticists and Breeders, 3, Podbelsky highway, Pushkin, Saint-Petersburg 196608, Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Igor A. Tikhonovich, Dr. Sci. (Biology), Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Biology, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya embankment, Saint-Petersburg 199034, Russia; Scientific Director, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, Podbelsky highway, Pushkin, Saint-Petersburg 196608, Russia; President of VOGiS, Vavilov Society of Geneticists and Breeders, 3, Podbelsky highway, Pushkin, Saint-Petersburg 196608, Russia, igor.tikhonovich49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-854X>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.02.2022; одобрена после рецензирования 27.02.2022; принята к публикации 04.03.2022

The article was submitted 10.02.2022; approved after reviewing 27.02.2022; accepted for publication on 04.03.2022.

Краткое сообщение

УДК 575.2:577.2

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-04



Биоинформатика прирастает Сибирью: к юбилею академика РАН Николая Александровича Колчанова

Е. К. Хлесткина^{1,2}, А. А. Нижников^{1,3,4}, И. А. Тихонович^{1,3,4}

¹Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Константиновна Хлесткина, director@vir.nw.ru

9 января 2022 г. исполнилось 75 лет академику РАН, доктору биологических наук, научному руководителю Федерального исследовательского центра Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, первому вице-президенту Вавиловского общества генетиков и селекционеров профессору Николаю Александровичу Колчанову. Академик Н.А. Колчанов – выдающийся специалист в области биоинформатики и системной компьютерной биологии, под руководством которого сформировалась и получила общемировое развитие крупнейшая в этом направлении отечественная научная школа. Он является автором и соавтором около 700 публикаций в отечественной и зарубежной печати, 18 авторских свидетельств и 8 патентов. В течение почти 20 лет академик Н.А. Колчанов является заведующим и профессором кафедры информационной биологии факультета естественных наук Новосибирского государственного университета. Он подготовил 12 кандидатов наук и 2 докторов наук. Его ученики, работающие в ведущих отечественных и зарубежных научных центрах, являются гордостью российской науки и вносят весомый вклад в мировой уровень развития современной биоинформатики.

Ключевые слова: BGRS, биоинформатика, генные сети, информационная биология, молекулярно-генетические системы, системная биология растений

Для цитирования: Хлесткина Е.К., Нижников А.А., Тихонович И.А. Биоинформатика прирастает Сибирью: к юбилею академика РАН Николая Александровича Колчанова. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):47-51.

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-04

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

© Хлесткина Е.К., Нижников А.А., Тихонович И.А., 2022

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-04

Bioinformatics benefits from Siberia: on the anniversary of Nikolay Aleksandrovich Kolchanov, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS)

Elena K. Khlestkina^{1,2}, Anton A. Nizhnikov^{1,3,4}, Igor A. Tikhonovich^{1,3,4}¹Vavilov Society of Geneticists and Breeders, St. Petersburg, Russia²N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia³All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia⁴St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Elena K. Khlestkina, director@vir.nw.ru

January 9, 2022 marks the 75th anniversary of Nikolai Aleksandrovich Kolchanov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Leader of the Federal Research Center the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, First Vice-President of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders. Acad. N.A. Kolchanov is a prominent specialist in the field of bioinformatics and systems computational biology, under whose guidance the largest domestic scientific school in this area has formed and received global development. He is the author and co-author of about 700 publications in domestic and foreign press, holder of 18 copyright certificates and 8 patents. For almost 20 years, Acad. Kolchanov is the Head and Professor of the Department of Information Biology with the Faculty of Natural Sciences of Novosibirsk State University. He supervised the work of 12 doctoral and 2 senior doctorate students. His students, who work in leading domestic and foreign scientific centers, are the pride of Russian science and make a significant contribution to the world level of development of modern bioinformatics at the global level.

Keywords: BGRS, bioinformatics, gene networks, molecular-genetic systems, plant systems biology

For citation: Khlestkina E.K., Nizhnikov A.A., Tikhonovich I.A. Bioinformatics benefits from Siberia: on the anniversary of Nikolay Aleksandrovich Kolchanov, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):47-51. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-04

Financial transparency. The authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer.



Профессиональная деятельность Николая Александровича Колчанова неразрывно связана с Новосибирским Академгородком, начиная с обучения в Новосибирском государственном университете (НГУ), который он окончил в 1971 году по специальности «Биология». Далее Николай Александрович поступил в аспирантуру Института цитологии и генетики СО АН СССР, в котором трудится до сих пор, являясь в настоящее время научным руководителем ИЦиГ СО РАН. С 2007 по 2017 год он руководил Институтом, который при нем был реорганизован в один из первых в России Федеральных исследовательских центров. В ИЦиГ СО РАН Николай Александрович заведует Отделом системной биологии, а в НГУ – кафедрой информационной биологии.

Академик Н.А. Колчанов является основателем отечественной школы биоинформатики. Он непосредственно руководил 12 кандидатскими и был научным консультантом 2 докторских диссертаций, а его научная школа – многочисленные исследователи, работающие в ведущих отечественных и зарубежных научных центрах, являющиеся гордостью российской науки и вносящие ключевой вклад в развитие современной биоинформатики в мире (URL: <http://www.bionet.nsc.ru>; <https://kib.nsu.ru/>; <http://www.ras.ru>).

Область научных интересов Н.А. Колчанова: реконструкция, компьютерный анализ и моделирование структурно-функциональной организации и эволюции генных сетей, геномов, генов, РНК, белков человека, животных, растений и микроорганизмов на основе методов биоинформатики и системной компьютерной биологии, компьютерный анализ молекулярных механизмов мутагенеза и молекулярно-генетических систем. Результаты исследовательских работ под руководством Н.А. Колчанова широко используются в мире. Так, основные публикации о разработанных базах данных по регуляции транскрипции (TRANSFAC, TRRD, COMPEL) в совокупности имеют более 1500 цитирований по версии Scopus (Wingender et al., 1997; Heinemeyer et al., 1998; Kolchanov et al., 1999; Kel-Margoulis et al., 2000; Busygina et al., 2000; Kolchanov et al., 2002). Печатная работа о предложенном новом подходе анализа «горячих точек» возникновения мутаций в геноме процитирована около 400 раз (Rogozin, Kolchanov, 1992), а основные работы о подходах к конструированию 3D-структуры белков на основе первичной структуры – более 300 раз (Shindyalov et al., 1994; Ivanisenko et al., 2004; Ivanisenko et al., 2005). Широкое признание получили также работы, посвященные анализу, реконструкции и эволюции генных сетей – более 200 цитирований (Kolpakov et al., 1998; Ananko et al., 2002; Kolchanov et al., 2002a; Podkolodnaya et al., 2011; Bragina et al., 2014). Развивая свою научную школу, академик Н.А. Колчанов уделяет особое внимание системной биологии, а также феномике растений. Широкую известность в этой области имеют работы по математическому моделированию процессов связанных с ростом и развитием растений (Mironova et al., 2010; Mironova et al., 2012; Omelyanchuk et al., 2017).

Огромную роль академик Колчанов сыграл в развитии научной коммуникации в области биоинформатики и системной биологии, основав с 1998 года регулярную Международную мультиконференцию по биоинформатике регуляции и структуры геномов/системной биологии (BGRS/SB), представляющую собой один из крупнейших международных научных форумов, в работе которого принимают участие ведущие ученые и научные центры России и мира (URL: <http://www.bionet.nsc.ru>).

Н.А. Колчанов является автором и соавтором около 700 публикаций в отечественной и зарубежной печати, в том числе 9 монографий, 4 учебных пособий, 18 авторских свидетельств и 8 патентов. Николай Александрович – член Бюро Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН, член Совета РАН по гено-инженерной деятельности, член Научного совета РАН по биотехнологии, член Президиума СО РАН, заместитель председателя Научного совета РАН по генетике и селекции, член Бюро Объединенного ученого совета СО РАН по биологическим наукам, заместитель председателя Ученого Совета ИЦиГ СО РАН, председатель Научного совета СО РАН по биоинформатике, член совета по супервычислениям СО РАН, первый вице-прези-



дент Вавиловского общества генетиков и селекционеров, член Межакадемического Совета по проблемам развития Союзного государства (Российская часть). Академик Колчанов принимает активное участие в развитии научных журналов, являясь членом редколлегий журналов «Генетика», «Сибирский экологический журнал», «Экологическая генетика», «Наука из первых рук», «Биотехнология и селекция растений», «Вавиловский журнал генетики и селекции» (зам. главного редактора), «Mathematical Biology and Bioinformatics» (зам. главного редактора), «International Journal of Molecular Sciences» (URL: <http://www.gas.ru>). Николай Александрович награжден орденом Дружбы (2017 г.), удостоен почетного звания «Заслуженный ветеран СО РАН» и является лауреатом премии им. А.А. Баева (1995 г.) Российской государственной научно-технической программы «Геном человека».

Президиум Вавиловского общества генетиков и селекционеров, генетики и селекционеры нашей страны горячо поздравляют Николая Александровича с юбилеем, выражают большую благодарность за его масштабный вклад в общее дело развития генетики и селекции в России, желают крепкого здоровья и долгих лет творческой жизни, а также процветания его научной школе!

References/Литература

- Ananko E.A., Podkolodny N.L., Stepanenko I.L., Ignatieva E.V., Podkolodnaya O.A., Kolchanov N.A. GeneNet: a database on structure and functional organisation of gene networks. *Nucleic Acids Research*. 2002;30(1):398-401. DOI: 10.1093/nar/30.1.398
- Bragina E.Yu., Tiys E.S., Freidin M.B., Koneva L.A., Demenkov P.S., Ivanisenko V.A., Kolchanov N.A., Puzyrev V.P. Insights into pathophysiology of dystrophy through the analysis of gene networks: an example of bronchial asthma and tuberculosis. *Immunogenetics*. 2014;66(7-8):457-465. DOI: 10.1007/s00251-014-0786-1
- Department of Information Biology, Novosibirsk State University (Kafedra Informatsionnoy Biologii. Novosibirskii Gosudarstvennyi Universitet) [website]. [in Russian] (Кафедра информационной биологии, Новосибирский Государственный Университет: [сайт]). URL: <https://kib.nsu.ru/> [дата обращения: 28.11.2021].
- Heinemeyer T., Wingender E., Reuter I., Hermjakob H., Kel A.E., Kel O.V., Ignatieva E.V., Ananko E.A., Podkolodnaya O.A., Kolpakov F.A., Podkolodny N.L., Kolchanov N.A. Databases on transcriptional regulation: TRANSFAC, TRRD and COMPEL. *Nucleic Acids Research*. 1998;26(1):362-367. DOI: 10.1093/nar/26.1.362
- Ivanisenko V.A., Pintus S.S., Grigorovich D.A., Kolchanov N.A. PDBSite: a database of the 3D structure of protein functional sites. *Nucleic Acids Research*. 2005;33 Suppl 1:D183-D187. DOI: 10.1093/nar/gki105
- Ivanisenko V.A., Pintus S.S., Grigorovich D.A., Kolchanov N.A. PDBSiteScan: a program for searching for active, binding and post-translational modification sites in the 3D structures of proteins. *Nucleic Acids Research*. 2004;32 Suppl 2:W549-W554. DOI: 10.1093/nar/gkh439
- Kel-Margoulis O.V., Romashchenko A.G., Kolchanov N.A., Wingender E., Kel A.E. COMPEL: a database on composite regulatory elements providing combinatorial transcriptional regulation. *Nucleic Acids Research*. 2000;28(1):311-315. DOI: 10.1093/nar/28.1.311
- Kolchanov N.A., Ananko E.A., Podkolodnaya O.A., Ignatieva E.V., Stepanenko I.L., Kel-Margoulis O.V., Kel A.E., Merkulova T.I., Goryachkovskaya T.N., Busygina T.V., Kolpakov F.A., Podkolodny N.L., Naumochkin A.N., Romashchenko A.G. Transcription Regulatory Regions Database (TRRD): its status in 1999. *Nucleic Acids Research*. 1999;27(1):303-306. DOI: 10.1093/nar/27.1.303
- Kolchanov N.A., Ignatieva E.V., Ananko E.A., Podkolodnaya O.A., Stepanenko I.L., Merkulova T.I., Pozdnyakov M.A., Podkolodny N.L., Naumochkin A.N., Romashchenko A.G. Transcription Regulatory Regions Database (TRRD): its status in 2002. *Nucleic Acids Research*. 2002;30(1):312-317. DOI: 10.1093/nar/30.1.312
- Kolchanov N.A., Nedosekina E.A., Ananko E.A., Likhoshvai V.A., Podkolodny N.L., Ratushny A.V., Stepanenko I.L., Podkolodnaya O.A., Ignatieva E.V., Matushkin Y.G. GeneNet database: description and modeling of gene networks. *Silico Biology*. 2002a;2(2):97-110.
- Kolchanov N.A., Podkolodnaya O.A., Ananko E.A., Ignatieva E.V., Stepanenko I.L., Kel-Margoulis O.V., Kel A.E., Merkulova T.I., Goryachkovskaya T.N., Busygina T.V., Kolpakov F.A., Podkolodny N.L., Naumochkin A.N., Korostishevskaya I.M., Romashchenko A.G., Overton G.C. Transcription Regulatory Regions Database (TRRD): its status in 2000. *Nucleic Acids Research*. 2000;28(1):298-301. DOI: 10.1093/nar/28.1.298
- Kolpakov F.A., Ananko E.A., Kolesov G.B., Kolchanov N.A. GeneNet: a gene network database and its automated visualization. *Bioinformatics*. 1998;14(6):529-537. DOI: 10.1093/bioinformatics/14.6.529
- Mironova V.V., Omelyanchuk N.A., Novoselova E.S., Doroshkov A.V., Kazantsev F.V., Kochetov A.V., Kolchanov N.A., Mjolsness E., Likhoshvai V.A. Combined *in silico/in vivo* analysis of mechanisms providing for root apical meristem self-organization and maintenance. *Annals of Botany*. 2012;110(2):349-360. DOI: 10.1093/aob/mcs069
- Mironova V.V., Omelyanchuk N.A., Yosiphon G., Fadeev S.I., Kolchanov N.A., Mjolsness E., Likhoshvai V.A. A plausible mechanism for auxin patterning along the developing root. *BMC Systems Biology*. 2010;4 Suppl 1:98. DOI: 10.1186/1752-0509-4-98
- Omelyanchuk N.A., Wiebe D.S., Novikova D.D., Levitsky V.G., Klimova N., Gorelova V., Weinholdt C., Vasiliev G.V., Zemlyanskaya E.V., Kolchanov N.A., Kochetov A.V., Grosse I., Mironova V.V. Auxin regulates functional gene groups in a fold-change-specific manner in *Arabidopsis thaliana* roots. *Scientific Reports*. 2017;7(1):2489. DOI: 10.1038/s41598-017-02476-8
- Podkolodnaya O.A., Yarkova E.E., Demenkov P.S., Konovalova O.S., Ivanisenko V.A., Kolchanov N.A. Application of the AND-Cell computer system to reconstruction and analysis of associative networks describing potential relationships between myopia and glaucoma. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2011;1(1):21-28. DOI: 10.1134/S2079059711010059
- Rogozin I.B., Kolchanov N.A. Somatic hypermutagenesis in immunoglobulin genes: II. Influence of neighbouring base sequences on mutagenesis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Gene Structure and Expression*. 1992;1171(1):11-18. DOI: 10.1016/0167-4781(92)90134-L
- Russian Academy of Sciences (Rossiiskaya Akademiya Nauk) [official portal]. [in Russian] (Российская академия наук: [официальный портал]).

портал]). URL: <http://www.ras.ru> [дата обращения: 29.11.2021].
Shindyalov I.N., Kolchanov N.A., Sander C. Can three-dimensional contacts in protein structures be predicted by analysis of correlated mutations?. *Protein Engineering, Design and Selection*. 1994;7(3):349-358. DOI: 10.1093/protein/7.3.349
The Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences: [website]. [in Russian] (Федеральный исследовательский центр Институт

цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН): [сайт]). URL: <http://www.bionet.nsc.ru> [дата обращения: 28.11.2021].
Wingender E., Kel A.E., Kel O.V., Karas H., Heinemeyer T., Dietze P., Knüppel R., Romaschenko A.G., Kolchanov N.A. TRANSFAC, TRRD and COMPEL: towards a federated database system on transcriptional regulation. *Nucleic Acids Research*. 1997;25(1):265-268. DOI: 10.1093/nar/25.1.265

Информация об авторах

Елена Константиновна Хлесткина, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44; член Президиума ЦС, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3; director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Антон Александрович Нижников, доктор биологических наук, заведующий лабораторией №7 Протеомики надорганизменных систем, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3; доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; ученый секретарь, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3, a.nizhnikov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Игорь Анатольевич Тихонович, доктор биологических наук, академик РАН, профессор, декан биологического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3; президент ВОГиС, Вавиловское общество генетиков и селекционеров, 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин 8, ш. Подбельского, д. 3, igor.tikhonovich49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-854X>

Information about the authors

Elena K. Khlestkina, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia; member of the Presidium, Vavilov Society of Geneticists and Breeders, 3, Podbelsky highway, Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

Anton A. Nizhnikov, Dr. Sci. (Biology), Head of Laboratory for Proteomics of Supra-Organismal Systems, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, Podbelsky highway, Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia; Associate Professor, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya embankment, St. Petersburg 199034, Russia; Scientific Secretary, Vavilov Society of Geneticists and Breeders, 3, Podbelsky highway, Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, nizhnikov@arriam.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

Igor A. Tikhonovich, Dr. Sci. (Biology), Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Biology, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya embankment, St. Petersburg 199034, Russia; Scientific Director, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, Podbelsky highway, Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia; President of VOGiS, Vavilov Society of Geneticists and Breeders, 3, Podbelsky highway, Pushkin, St. Petersburg 196608, Russia, igor.tikhonovich49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-854X>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 09.01.2022; одобрена после рецензирования 27.02.2022; принята к публикации 04.03.2022

The article was submitted 09.01.2022; approved after reviewing 27.02.2022; accepted for publication on 04.03.2022.

Plant Biotechnology and Breeding is a scientific periodical publishing on its pages original research results, review articles, protocols and methods in the field of applied crop biotechnology; works on conventional breeding of food, forage, industrial and other crops combined with *in vitro* technologies and methods of genomic and marker-oriented breeding, genome editing, distant hybridization, cell and chromosome engineering, as well as brief communications on the results of the work of leading biotechnological and plant breeding conferences and congresses. The journal is published four times a year. The languages of publications: Russian and English. The publications in the journal are free of charge.

Plant Biotechnology and Breeding

Advanced search

HOME | ABOUT | CURRENT | ARCHIVES | ANNOUNCEMENTS | ONLINE FIRST

Plant Biotechnology and Breeding is a scientific periodical publishing on its pages original research results, review articles, protocols and methods in the field of applied crop biotechnology; works on conventional breeding of food, forage, industrial and other crops combined with *in vitro* technologies and methods of genomic and marker-oriented breeding, genome editing, distant hybridization, cell and chromosome engineering, as well as brief communications on the results of the work of leading biotechnological and plant breeding conferences and congresses. The journal is published four times a year. The languages of publications: Russian and English. The publications in the journal are free of charge.

Read more

CURRENT ISSUE

Vol 4, No 3 (2021) View or download the full issue PDF (RUSSIAN)

FROM THE EDITOR IN CHIEF

Introductory Article

E. K. Khlestkina

PDF (RUS)

4-4 48

Abstract

DEVELOPMENT OF MODERN BREEDING METHODS

Anthocyanin content in grains of barley and oat accessions from the VIR collection

K. A. Lukina, O. Y. Shoeva, O. N. Kovaleva, I. G. Laskutov

PDF (RUS)

Start submission

Author Guidelines

Editorial Board

Editorial Council

Peer Review

Publishing Ethics

OPEN ACCESS

research4life

ANTИПЛАГИАТ

СОЦИОНЕТ

LIBRARY.RU

Google

PГБ

Science Index

WorldCat

Mendeley

CC

unpaywall

Baidu

POPULAR ARTICLES

«Биотехнология и селекция растений» - это периодический научный журнал, на страницах которого публикуются оригинальные результаты исследований, обзорные статьи, протоколы и методы в области прикладной биотехнологии культурных растений; работы по традиционной селекции продовольственных, кормовых, технических и других культур в сочетании с технологиями *in vitro*, методами геномной и маркер-ориентированной селекции, геномного редактирования, отдаленной гибридизации, клеточной и хромосомной инженерии, а также публикуются краткие сообщения о результатах работы ведущих биотехнологических и селекционных конференций и конгрессов. Журнал выходит четыре раза в год. Языки публикации: русский, английский. Публикации в журнале бесплатные.

<https://biosel.elpub.ru>

ISSN 2658-6266 (Print); ISSN 2658-6258 (Online)

4 номера в год (ежеквартально) / Publication frequency: Quarterly

<https://biosel.elpub.ru>; e-mail: pbi@vir.nw.ru

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), DOAJ / Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, DOAJ

Открытый доступ к полным текстам / Open access to full texts:

<https://biosel.elpub.ru>

<http://www.vir.nw.ru/pbi/>

https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=69575

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала <https://biosel.elpub.ru> / Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <https://biosel.elpub.ru>

Прием статей через электронную редакцию на сайте журнала <https://biosel.elpub.ru>. Предварительно необходимо зарегистрироваться как автору, затем в правом верхнем углу страницы выбрать «Отправить рукопись». После завершения загрузки материалов обязательно выбрать опцию «Отправить письмо», в этом случае редакция автоматически будет уведомлена о получении новой рукописи / Manuscripts are accepted via the online editing resource at the Journal's website <https://biosel.elpub.ru>. The sender needs to register as the author and select in the upper righthand corner "Send a manuscript". After the loading of the materials, the option "Send a letter" is to be chosen, so that the editors would be automatically informed that a new manuscript has been received.

Научный редактор: *д.б.н. Е.И. Михайлова*

Переводчик: *С.В. Шувалов*

Корректор: *С.В. Шувалов*

Компьютерная верстка: *Г.К. Чухин*

Адрес редакции:

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42

Тел.: (812) 314-49-14; e-mail: pbi@vir.nw.ru; i.kotielkina@vir.nw.ru

Почтовый адрес редакции

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42, 44

Подписано в печать 30.03.2022. Формат 70×100¹/₈.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 6,5. Тираж 30 экз. Заказ № 376/3.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный исследовательский центр

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР),

редакционно-издательский сектор ВИР

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42

БИОТЕХНОЛОГИЯ
И СЕЛЕКЦИЯ
РАСТЕНИЙ

5(1), 2022