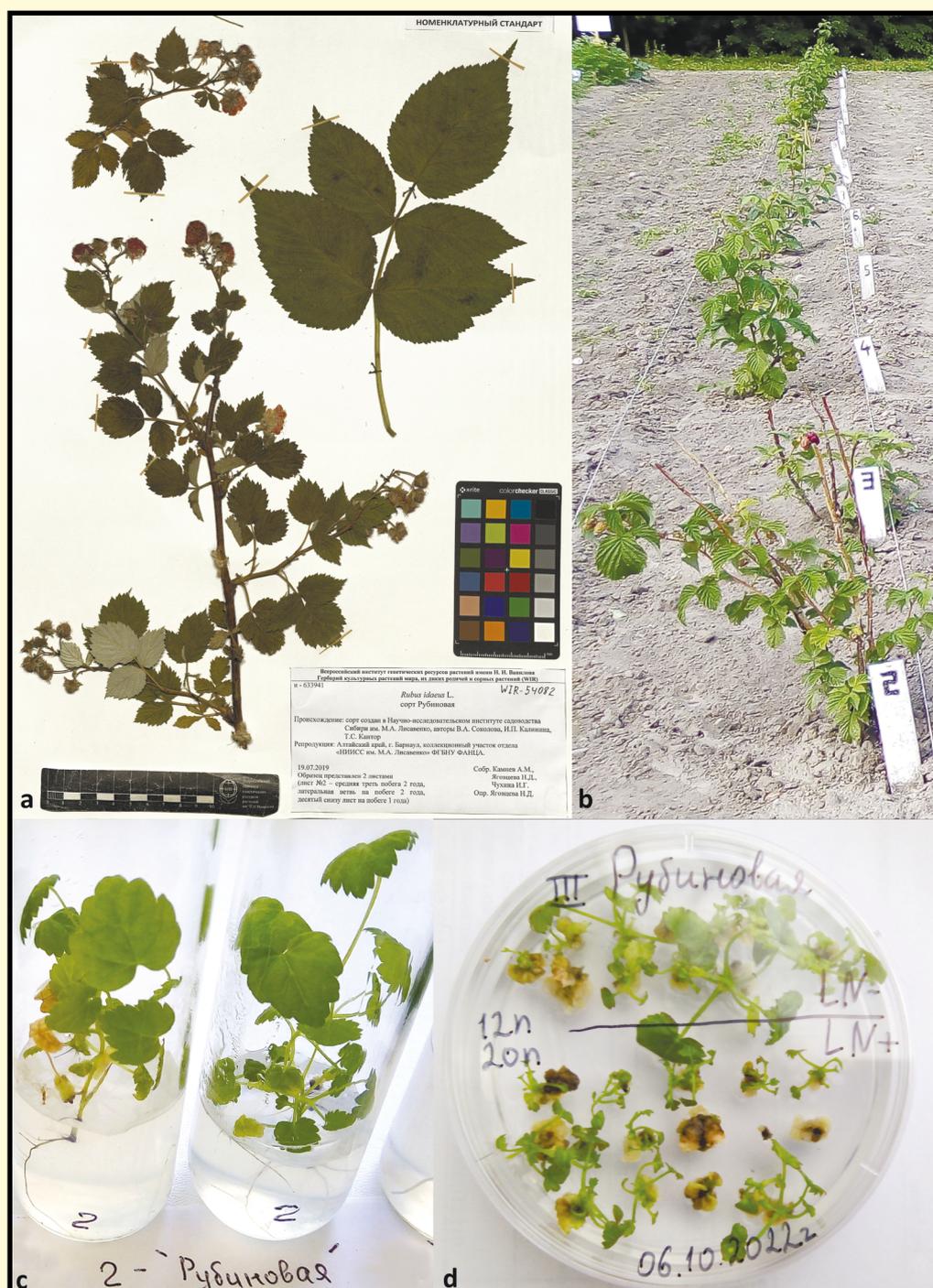


# БИОТЕХНОЛОГИЯ И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

5(4), 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(4)

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](mailto: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: 10.30901/2658-6266-2022-4  
УДК: 573.6:631.527

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

#### На обложке:

Фото а. Номенклатурный стандарт - *Rubus idaeus* L., сорт малины обыкновенной 'Рубиновая' (WIR-54082).  
Фото б. Клоны сортов малины, высаженные отпрысками с отрезками корневища, переданными селекционерами в ВИР.  
Фото с. Образец и-633941 сорта малины обыкновенной 'Рубиновая' из коллекции *in vitro* ВИР.  
Фото д. Пост-криогенные регенеранты образца и-633941 сорта малины 'Рубиновая'.

Материалы к статье: Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Чухина И.Г. Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генбанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной.

SCIENTIFIC PEER REVIEWED JOURNAL

# PLANT BIOTECHNOLOGY AND BREEDING

2022, 5(4)

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](mailto: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)

#### Cover photo:

Fig. a. Nomenclatural standard of *Rubus idaeus* L., 'Rubinovaya' red raspberry cultivar (WIR-54082).  
Fig. b. Clones of red raspberry cultivars handed over by breeders to VIR and planted as offshoots with root segments.  
Fig. c. 'Rubinovaya' red raspberry cultivar, accession i-633941 from the VIR *in vitro* collection.  
Fig. d. Postcryogenic regenerants of 'Rubinovaya' red raspberry cultivar, accession i-633941.

Materials for the article: Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Chukhina I.G. New approaches to registration and conservation of domestic cultivars of berry crops in the VIR Genebank on the example of red raspberry and black currant.

## Биотехнология и селекция растений

2022 Том 5 № 4

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3  
<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. Моргунов – 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. Демуринов – 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 4  
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3  
<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>Е. К. Хлесткина</i> ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ	
ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ	6
<i>Д. А. Рыбаков, А. И. Черемисин, О. Ю. Антонова, И. Г. Чухина, Т. А. Гавриленко</i> <i>Оригинальное исследование</i> Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Омского Аграрного научного центра	
СОХРАНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ	24
<i>Т. А. Гавриленко, С. Е. Дунаева, О. А. Тихонова, И. Г. Чухина</i> <i>Методическая статья</i> Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генбанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной	
МЕТОДЫ БИОТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВЕ РАСТЕНИЙ	39
<i>Т. В. Коваленко, Н. Г. Тихонова, Е. К. Хлесткина, Ю. В. Ухатова</i> <i>Обзор</i> Регенерация винограда в культуре <i>in vitro</i>	
<i>А. Б. Курина, А. М. Артемьева</i> <i>Мини-обзорная статья</i> Возможности использования биотехнологических методов в селекции овощных культур в лаборатории селекции и клеточных технологий ВИР	55
РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИИ	65
<i>Р. С. Рахмангулов, И. В. Барабанов, М. В. Ерастенкова, А. А. Иванов, Т. М. Коваленко, К. М. Межнина, И. А. Петросян, А. А. Харченко, Д. Ю. Шаймарданов, Э. Х. Шаймарданова, И. Н. Анисимова, Н. Г. Тихонова, Ю. В. Ухатова, Е. К. Хлесткина</i> <i>Обзор</i> Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н.И. Вавилова	
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	79
<i>Е. К. Хлесткина, И. Г. Лоскутов, Г. А. Баталова, М. А. Вишнякова, И. Г. Чухина, Ю. В. Ухатова, А. А. Заварзин</i> Об итогах V Вавиловской международной конференции (21–25 ноября 2022 г., Санкт- Петербург).	

## CONTENTS

FROM THE EDITOR IN CHIEF	4
<i>E. K. Khlestkina</i> INTRODUCTORY ARTICLE	
STUDY OF PLANT GENETIC RESOURCES USING MOLECULAR GENETICS METHODS	6
<i>D. A. Rybakov, A. I. Cheremisin, O. Yu. Antonova, I. G. Chukhina, T. A. Gavrilenko</i> <i>Original article</i> Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Omsk Agrarian Research Center	
CONSERVATION OF PLANT GENETIC RESOURCES USING BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES	24
<i>T. A. Gavrilenko, S. E. Dunaeva, O. A. Tikhonova, I. G. Chukhina</i> <i>Methodological article</i> New approaches to registration and conservation of domestic cultivars of berry crops in the VIR Genebank on the example of red raspberry and black currant	
BIOTECHNOLOGY TECHNIQUES IN PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION	39
<i>T. V. Kovalenko, N. G. Tikhonova, E. K. Khlestkina, Yu. V. Ukhatova</i> <i>Review article</i> <i>In vitro</i> regeneration of grape	
<i>A. B. Kurina, A. M. Artemyeva</i> <i>Mini-review article</i> Possibilities of biotechnological methods in breeding of vegetable crops at the VIR Laboratory of Breeding and Cell Technologies	55
DEVELOPMENT OF MODERN BREEDING METHODS	65
<i>R. S. Rakhmangulov, I. V. Barabanov, M. V. Erastenkova, A. A. Ivanov, T. V. Kovalenko, K. M. Mezhdina, I. A. Petrosyan, A. A. Kharchenko, D. Yu. Shaimardanov, E. Kh. Shaimardanova, I. N. Anisimova, N. G. Tikhonova, Yu. V. Ukhatova, E. K. Khlestkina</i> <i>Review article</i> The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR)	
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	79
<i>E. K. Khlestkina, I. G. Loskutov, G. A. Batalova, M. A. Vishnyakova, I. G. Chukhina, Yu. V. Ukhatova, A. A. Zavarzin</i> Об итогах V Вавиловской международной конференции (21–25 ноября 2022 г., Санкт- Петербург).	



*Уважаемые читатели!*

В развитие предложенного ранее комплексного подхода по контролю подлинности генетического материала, базирующегося на создании номенклатурных стандартов и генетических паспортов (2020. Т. 3, № 3), в текущем номере (2022. Т. 5, № 4) мы публикуем результаты совместной работы ВИР и Омского аграрного научного центра. В ней представлены впервые созданные номенклатурные стандарты и генетические паспорта пяти сортов картофеля селекции Омского АНЦ: 'Алена', 'Былина Сибири', 'Вечерний Омск', 'Триумф', 'Хозяюшка' (DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04).

Данный подход, помимо создания номенклатурного стандарта и генетического паспорта, включает введение образца в культуру и закладку его в криобанк ВИР на долгосрочное хранение. При этом для разных культур разрабатываются специальные протоколы. В настоящем выпуске приведены детальные протоколы для проведения этих работ в отношении сортов малины и смородины (DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-05).

При разработке специальных протоколов для введения образца в культуру *in vitro* часто необ-

ходимо учитывать не только видо-, но и сорто-специфические особенности. Такие протоколы имеют значение для нескольких направлений: сохранение образцов вегетативно размножаемых культур, микрклональное размножение для получения посадочного материала, применение технологий геномного редактирования к конкретным сортам. Вопросу оптимального состава среды, позволяющего достигать высоких коэффициентов каллусообразования и регенерации при введении растений винограда в культуру *in vitro* посвящена совместная статья исследователей из университета «Сириус» и ВИР (DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-01).

Широкому применению технологических достижений современной генетики и биотехнологии для селекционных программ способствует развитие направлений частной генетики, биотехнологии и селекции. С целью организации оптимальных условий для развития «частных», объект-ориентированных, исследований в этих практических направлениях с учетом применения многолетнего богатейшего опыта научных школ в области изучения отдельных культур, который сложился в отделах генетических ресурсов растений в ВИР, в 2022 году в экспериментальном порядке созданы молодежные лаборатории внутри отделов генетических ресурсов растений в рамках нацпроекта «Наука и университеты». В частности, в отделе генетических ресурсов овощных и бахчевых культур создана лаборатория селекции и клеточных технологий, а в отделе генетических ресурсов плодовых культур ВИР, который ведет многолетние исследования по плодовым, ягодным культурам, винограду и декоративным культурам создана лаборатория генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур. Преимущество ведущих научных школ, наряду с привносимыми в работу отделов биотехнологическими и генетическими методами селекции, позволит более эффективно организовывать процессы изучения и использования исходного материала конкретных культур для

создания новых сортов и гибридов. В выпуске представлены сообщения, отражающие направления работ, предусмотренные для созданных лабораторий, с акцентом на новизну и перспективы практического внедрения ожидаемых результатов (DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-02; DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-03).

Уходящий 2022 год прошел под эгидой 135-летия Николая Ивановича Вавилова. Неизменным мероприятием в каждый юбилейный год является Вавиловская международная конференция. На этот раз V Вавиловская международная конференция, состоявшаяся в Санкт-Петербурге 21–25 ноября 2022 года, прошла в формате «мультиконференции» – были проведены восемь мероприятий, посвященных вопросам сохранения, развития, изучения и практического использования коллекций генетических ресурсов растений (ГРР), а также научному наследию Николая Ивано-

вича Вавилова, вопросам развития основанных им научных школ, деятельности его соратников и последователей. В текущем выпуске журнала представлена публикация, отражающая основные задачи и содержание проведенных мероприятий. Публикация также содержит ключевые рекомендации, сформулированные по итогам конференции, включая (1) рекомендации в сфере сохранения, изучения и использования ГРР, в том числе на междисциплинарной основе; (2) рекомендации по мероприятиям, обеспечивающим координацию в сфере сохранения, изучения ГРР, селекции и семеноводства; (3) рекомендации по нормативному правовому регулированию в сфере селекции и семеноводства и в сфере коллекций генетических ресурсов; (4) рекомендации в сфере подготовки кадров, профориентационной и просветительской работы.

*Главный редактор,  
профессор РАН  
Е.К. Хлесткина*

Научная статья

УДК 635.21:631.523+631.526.32

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04



## Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Омского Аграрного научного центра

Д. А. Рыбаков<sup>1</sup>, А. И. Черемисин<sup>2</sup>, О. Ю. Антонова<sup>1</sup>, И. Г. Чухина<sup>1</sup>, Т. А. Гавриленко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Омский Аграрный научный центр, Омск, Россия

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

В соответствии с правилами Международного кодекса номенклатуры культурных растений оформлены и переданы на хранение в Гербарий ВИР (WIR) номенклатурные стандарты пяти сортов картофеля селекции Омского АНЦ: 'Алена', 'Былина Сибири', 'Вечерний Омск', 'Триумф', 'Хозяюшка'. Согласно разрабатываемой в ВИР новой комплексной стратегии, растительный материал, переданный автором сортов в Гербарий ВИР, был использован для молекулярно-генетической паспортизации. Генетические паспорта включают информацию об аллельном составе восьми хромосомспецифичных микросателлитных локусов, данные о типах оргanelльных геномов сортов, а также о наличии диагностических фрагментов 15 маркеров 11 генов, вовлеченных в контроль устойчивости к наиболее опасным заболеваниям и вредителям картофеля: фитофторозу, цистообразующим картофельным нематодам, вирусам X и Y картофеля. Данные генетических паспортов использовались для проверки идентичности одноименных образцов омских сортов, полученных из различных источников. Сопоставление результатов паспортизации и данных родословных омских сортов позволило установить источники генов устойчивости к вредным организмам и источники разных типов цитоплазм.

**Ключевые слова:** *Solanum tuberosum*, Гербарий ВИР, WIR, молекулярно-генетическая паспортизация, ДНК-маркеры, SSR-генотипирование, родословные сорта

**Благодарности:** Статья подготовлена по теме НИР № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей» и теме № 0481-2022-0008 «Использование комплекса современных методов ДНК-генотипирования и молекулярного скрининга для изучения генетических ресурсов культурных растений, их диких родичей и форм собственной селекции».

**Для цитирования:** Рыбаков Д.А., Черемисин А.И., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гавриленко Т. А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Омского Аграрного научного центра. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):6-23. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

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.

© Рыбаков Д.А., Черемисин А.И., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гавриленко Т.А., 2022

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

## Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Omsk Agrarian Research Center

D. A. Rybakov<sup>1</sup>, A. I. Cheremisin<sup>2</sup>, Olga Yu. Antonova<sup>1</sup>, Irena G. Chukhina<sup>1</sup>, Tatjana A. Gavrilenko<sup>1</sup><sup>1</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia<sup>2</sup>Omsk Agrarian Research Center, Omsk, Russia**Corresponding author:** Tatjana A. Gavrilenko, tatjana9972@yandex.ru

In accordance with the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants, five nomenclatural standards have been prepared for five potato cultivars<sup>1</sup> ‘Alena’, ‘Bylina Sibiri’, ‘Večernij Omsk’, ‘Triumf’, ‘Hozâuška’ bred by the Omsk Agrarian Research Center. Genetic passports were issued to these five cultivars according to the new integrated strategy developed at VIR. According to the strategy, the plant material donated by the author of the cultivars to the VIR Herbarium was used for molecular genotyping. Genetic passports included data of allelic composition of eight chromosome-specific microsatellite loci, markers of different types of organelle DNA, as well as data about diagnostic fragments of 15 markers of 11 *R*-genes conferring resistance to the most dangerous diseases and pests of potato, namely late blight, nematodes, potato X and Y viruses. Data from genetic passports of five Omsk cultivars were compared to the results of genotyping samples of the same cultivars obtained from different sources. Based on the analysis of pedigrees and genetic passports of these five cultivars, we established the origin of their resistance to harmful organisms.

**Key words:** *Solanum tuberosum*, VIR Herbarium, WIR, genetic passport, DNA markers, SSR genotyping, cultivar pedigree

**Acknowledgments:** The work was performed in accordance with the R&D Topic No. 0481-2022-0004 “Improvement of approaches and methods of *ex situ* conservation of the identified gene pool of vegetatively propagated crops and their wild relatives” and the Topic No. 0481-2022-0008 «The use of a complex of modern methods of DNA-genotyping and molecular screening to study the genetic resources of cultivated plants, their wild relatives and forms of own selective breeding».

**For citation:** Rybakov D.A., Cheremisin A.I., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Omsk Agrarian Research Center. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):6-23. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

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 authors, and their employers.

© Rybakov D.A., Cheremisin A.I., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gavrilenko T.A., 2022

<sup>1</sup>Примечание. Транслитерация названий сортов здесь и далее дана в соответствии с рекомендацией 33А МКНKP (Brickell et al., 2016).  
Note. Transliteration of cultivar names hereinafter is given in accordance with ICNCR recommendation 33A (Brickell et al., 2016)

## Сокращения:

ВИР – Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова;

ГСИ – Госсортиспытания;

ЗКН – Золотистая цистообразующая картофельная нематода, *Globodera rostochiensis* (Wollenweber) Behrens;

БКН – Бледная цистообразующая картофельная нематода, *Globodera pallida* (Wollenweber) Behrens;

МКНР – Международный кодекс номенклатуры культурных растений;

НАН Беларуси – Национальная академия наук Беларуси;

Омский АНЦ – Омский аграрный научный центр;

РУП – Республиканское унитарное предприятие;

СибНИИСХ – Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства;

КПНИ\_ЭГИ – эколого-географические испытания (ЭГИ) по комплексному плану научных исследований подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации»;

PVX – Potato virus X – X Вирус Картофеля (ХВК);

PVY – Potato virus Y – Y Вирус Картофеля (YBK);

SSR – Simple-sequence repeats – microsatellite markers – микросателлитные маркеры;

WIR – Международный акроним Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений (Гербарий ВИР, Санкт-Петербург).

## Введение

История и первые результаты селекционных исследований картофеля в Омске берут начало с 1919 года, когда под руководством В.В. Таланова начал работать Л.И. Венени. В качестве метода селекции Л.И. Венени использовал клоновый отбор из местного материала, в котором преобладал сорт ‘Ранняя Роза’. С 1937 года селекционные работы проводились селекционерами Л.В. Катиным-Ярцевым и Л.И. Ивановой на базе СибНИИСХ. В это время был создан сорт ‘Сибиряк’, полученный от самоопыления сорта ‘Ранняя Роза’. Наиболее удачными в Омске на начальных этапах селекции оказались скрещивания раннеспелого клона 1830 ‘Ранней Розы’ со среднеспелым североамериканским сортом ‘Katahdin’ в качестве опылителя. В 1940 году Л.И. Ивановой в открытом грунте было выращено 800 семян этой комбинации. В дальнейшем из них было отобрано три сорта: ‘Седов’, ‘Ермак’ и ‘Северянин’ (Cheremisin et al., 2008).

Приоритетными в сибирской селекции были следующие признаки: раннеспелость, приспособленность к условиям региона, устойчивость к вирусным болезням. Создание селекционного центра в СибНИИСХ позволило выйти на новый уровень селекционной работы. Под руководством известного селекционера кандидата сельскохозяйственных наук Б.Н. Дорожкина была создана коллекция сортов, включенных в Госреестр селекционных достижений России и Казахстана. Борис Николаевич был

первым заведующим лабораторией селекции картофеля. В 1988-2000 годах в Государственный реестр селекционных достижений РФ были включены новые сорта картофеля: ‘Алена’, ‘Сентябрь’, ‘Лазарь’. Благодаря высокому содержанию крахмала сорт ‘Лазарь’ используется многими селекционерами в качестве исходной формы для создания сортов технического назначения.

Исходя из основной задачи создания столовых сортов картофеля для условий Западной Сибири, а также с учетом требований и приоритетов современных потребителей, для вовлечения в селекционный процесс из мировой коллекции ВИР подбирали формы, наиболее пригодные к специфическим условиям региона, обладающие в то же время ценными качественными показателями и устойчивостью к наиболее вредоносным патогенам. В числе основных родительских форм использовали сорта: ‘Алена’, ‘Любава’, ‘Невский’, ‘Ласунак’, ‘Зарево’, ‘Соточка’, ‘Роко’, ‘Гранат’, ‘Наяда’, ‘Агрис’, ‘Rosara’, ‘Sante’ и высокопродуктивные гибриды СибНИИСХ. Вовлечение в селекционный процесс высокопродуктивных сортов мировой коллекции способствовало созданию новых омских сортов с комплексом хозяйственно-ценных признаков, отвечающих требованиям потребителей. Особое внимание уделяли признаку устойчивости к золотистой картофельной нематоде (ЗКН). В 2009 и 2013 годах в Государственный реестр селекционных достижений РФ включены сорта ‘Хозяюшка’ и ‘Соточка’ соответственно. Сорт ‘Хозяюшка’ помимо высоких кулинарных качеств обладает устойчивостью к золотистой картофельной нематоде. В Сибири ЗКН обнаружена еще в 1970-е годы и в настоящее время она выявлена практически во всех районах области.

С 2011 по 2019 год руководителем лаборатории селекции была кандидат с.-х. наук Надежда Викторовна Дергачева. В эти годы с использованием выделившейся по комплексу хозяйственно-ценных признаков гибридной популяции ‘Невский’ × ‘Гранат’ был получен перспективный гибридный материал, на основе которого создавалось новое поколение омских сортов. Так, в 2019 и 2022 годах в Госреестр селекционных достижений РФ были включены сорта ‘Триумф’ и ‘Вечерний Омск’. Сорт ‘Былина Сибири’ выделен на основе другой гибридной комбинации ‘Невский’ × ‘Зарево’.

С 2018 года по инициативе ВИР в сотрудничестве с селекционерами различных учреждений нашей страны создаются номенклатурные стандарты селекционных сортов картофеля в соответствии с Международным кодексом номенклатуры культурных растений МКНР (Brickell et al., 2016). В ВИР данное направление включает дополнительные молекулярно-генетические и биотехнологические подходы, с целью создания генетических паспортов образцов сортов, переданных их авторами в Гербарий ВИР, и сохранения генотипированных клонов в живом виде в контролируемых условиях *in vitro* и криоколлекций (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Развитие данной комплексной стратегии уже привело к созданию более 60

номенклатурных стандартов и молекулярно-генетических паспортов российских сортов картофеля (Gavrilenko, Chukhina, 2020; Antonova et al., 2020; Klimenko et al., 2020; Fomina et al., 2020a,b; Rybakov et al., 2020).

## Материал и методы

**Растительный материал.** В 2020 году из Омского Аграрного научного центра (далее Омский АНЦ) в рабочий Гербарий ВИР (WIR) был передан растительный материал пяти сортов картофеля ('Алена', 'Былина Сибири', 'Вечерний Омск', 'Триумф', 'Хозяюшка'), выведенных селекционерами этого института. Отбор растительного материала в Омском АНЦ проведен автором этих сортов, заведующим отделом картофеля этого центра, к.с.-х.н. А.И. Черемисиным. Согласно протоколу, разработанному в ВИР (Gavrilenko, Chukhina, 2020), А.И. Черемисин выбирал определенное растение каждого из перечисленных выше сортов, этикетировал его и отбирал по одному побегу для передачи в Гербарий ВИР. Позднее от каждого этикетированного растения отбирали клубни и также отправляли в ВИР.

Вместе с растительным материалом для каждого сорта в ВИР были переданы копии официальных документов: Патент, Описание селекционного достижения, Анкета сорта, а для сорта 'Вечерний Омск' – Уведомление о приеме заявки, так как на момент передачи этот сорт не имел патента и находился в ГСИ. Оформление номенклатурных стандартов в Гербарии ВИР (WIR) было проведено в соответствии с разработанным в ВИР протоколом (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Одновременно с гербаризацией переданного растительного материала проводили фотодокументирование ряда признаков венчика, кожуры и мякоти клубней, а также отбор ткани для выделения ДНК. Один из переданных клубней был оставлен для получения световых ростков и фотодокументирования их признаков. Кроме того, световые ростки клубней были использованы для вычленения эксплантов и введения образцов сортов в культуру *in vitro*. Полученные микрорастения были включены в *in vitro* коллекцию ВИР, всем образцам были присвоены интродукционные («и-») номера ВИР.

**Выделение ДНК.** Препараты геномной ДНК получали с использованием модифицированного метода с СТАВ-экстракцией (Gavrilenko et al., 2013; Antonova et al., 2020). Экстракцию ДНК проводили из листьев побегов и кожуры клубней каждого сорта, использованных для гербаризации, а также из *in vitro* растений. Таким образом, для каждого сорта было получено как минимум три независимо выделенных препарата ДНК.

**Молекулярно-генетическую паспортизацию осу-**

ществляли с использованием восьми SSR-маркеров и 15 ДНК-маркеров, ассоциированных с 11 R-генами устойчивости к различным вредным организмам; маркеры были отобраны по литературным источникам (Приложение 1/ Supplement 1<sup>2</sup>). Формат оформления молекулярно-генетических паспортов соответствовал разработанному нами ранее (Fomina et al., 2020a,b; Rybakov et al., 2020), то же относится к условиям ПЦР и контрольным образцам для проведения молекулярного скрининга и SSR-анализа (Antonova et al., 2020; Klimenko et al., 2020; Rybakov et al., 2020) (см. Приложение 1/ Supplement 1).

**Составление родословных и выявление наиболее вероятных источников маркеров генов устойчивости и типов цитоплазм.** Данные молекулярно-генетических паспортов сортов были сопоставлены с их родословными. Родословные были составлены на основании информации, полученной от авторов, а также с использованием данных литературы (Muller, Buhr, 1949; Catalogue VIR № 382, 719, 721, 770; Bisgonin, Douches, 2002; van Berloo et al., 2007; Gavrilenko et al., 2007; 2018; 2019; Ahmadvand et al., 2013; Sanetomo, Gebhardt, 2015; Zoteyeva et al., 2016; Kostina, Kosareva, 2017; Fisenko et al., 2021; Klimenko, 2022). Графическая визуализация родословных была выполнена при помощи программного обеспечения Xmind (Xmind Ltd.).

**Использование генетических паспортов номенклатурных стандартов в качестве эталонов для верификации одноименных образцов сорта.** Результаты микросателлитного анализа и молекулярного скрининга были использованы для проверки идентичности и однородности образцов одного и того же сорта, полученных из разных источников. Для сорта 'Алена' в исследование был включен препарат ДНК, выделенный из одноименного образца полевой коллекции ВИР (к-12145), а для сорта 'Былина Сибири' в изучение были включены дополнительные препараты ДНК, выделенные из разных органов растения образца, участвовавшего в Эколого-географическом испытании КПНИ ЭГИ 2018, и переданного в ВИР из Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха в 2018 году (Приложение 2/ Supplement 2). Образцы пяти омских сортов из *in vitro* коллекции ВИР также были включены в эти исследования.

## Результаты и обсуждение

### Оформление номенклатурных стандартов сортов картофеля селекции Омского АНЦ

Морфологические признаки переданного материала (форма клубня, глубина глазков, гладкость кожуры, окрас-

<sup>2</sup> Приложения доступны в онлайн версии статьи /

Supplementary materials are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-04

ка основания глазка, окраска кожуры и мякоти клубня) были сопоставлены с указанными в официальных документах – Описании селекционного достижения и Оценке отличимости, однородности и стабильности. Для сорта ‘Вечерний Омск’ четкого проявления признака окраски кожуры клубня, которая в Описании селекционного достижения указана как «частично красная (светло-розовая)», не выявлено. Автор сорта ‘Вечерний Омск’, подтверждая подлинность переданного материала, объясняет это нестабильностью проявления у сорта данного признака. Фотографии клубней, на которых можно увидеть цвет кожуры и мякоти, а также фото световых ростков размещены на гербарных листах (табл. 1-5). Оформленные номенклатурные стандарты были зарегистрированы в Гербарии ВИР (WIR) и переданы на хранение в типовой фонд.

### Номенклатурные стандарты сортов картофеля, выведенных в Омском аграрном научном центре

*Solanum tuberosum* L., сорт ‘Алена’ (‘Alena’)

**Nomenclatural standard:** «Происхождение: Сибирский НИИСХ». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101814**» (см. табл. 1).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На первом листе также представлено фото соцветия, сделанное в сентябре 2020 г., фото клубня – октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

*Solanum tuberosum* L., сорт ‘Былина Сибири’ (‘Bylina Sibiri’)

**Nomenclatural standard:** «Происхождение: ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101815**» (см. табл. 2).

Примечание. На гербарном листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

*Solanum tuberosum* L., сорт ‘Вечерний Омск’ (‘Večernij Omsk’)

**Nomenclatural standard:** «Происхождение: ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101816**» (см. табл. 3).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г., фото клубня первой репродукции – сентябрь 2021 г.

*Solanum tuberosum* L., сорт ‘Триумф’ (‘Triumpf’)

**Nomenclatural standard:** «Происхождение: ООО «Агрофирма «Седек»; ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101817**» (см. табл. 4).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На первом листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

*Solanum tuberosum* L., сорт ‘Хозяюшка’ (‘Hozâûška’)

**Nomenclatural standard:** «Происхождение: ГНУ Сибирский НИИСХ». Репродукция: Омский аграрный научный центр. Собр.: побег 27.08.2020 Черемисин А.И.; клубень 10.09.2020 Черемисин А.И. Опр.: побег Черемисин А.И.; клубень Черемисин А.И.; **WIR-101818**» (см. табл. 5).

Примечание. Образец представлен двумя гербарными листами. На первом листе также представлено фото клубня, сделанное в октябре 2020 г., фото светового ростка – апрель 2021 г.

### Разработка молекулярно-генетических паспортов омских сортов

Каждый гербарный образец, зарегистрированный как номенклатурный стандарт сорта, был представлен двумя препаратами ДНК, независимо выделенными из листьев побега и из кожуры клубня.

Полученные в результате SSR-анализа данные об аллельном составе восьми хромосомспецифичных микросателлитных локусов были внесены в генетические паспорта омских сортов (см. табл. 1-5). Сопоставление полученных нами результатов с данными о полиморфизме тех же самых восьми SSR-локусов у ранее проанализированной выборки из 77 современных российских сортов картофеля (Antonova et al., 2020) позволило выявить редкие аллели у пяти омских сортов. Так, сорт ‘Алена’ имеет редкий аллель StI004\_73, который был найден у трех из 82 сортов: ‘Памяти Рогачева’, ‘Терра’ и ‘Сердолик’. У сортов ‘Былина Сибири’ и ‘Хозяюшка’, детектирован редкий аллель StI033\_137, который был выявлен у трех сортов: ‘Памяти Рогачева’, ‘Русский сувенир’ и ‘Эликсред’. Редкий аллель STG0016\_150 в выборке из 82 сортов встречается только у трех омских сортов: ‘Алена’, ‘Былина Сибири’ и ‘Хозяюшка’. Отметим, что эти три омских сорта имеют общую родительскую форму – сорт ‘Зарево’, который является отцовской формой упомянутого выше сорта ‘Памяти Рогачева’ и материнской формой сорта ‘Русский сувенир’.

Полученные в результате молекулярного скрининга данные о наличии/отсутствии диагностических фрагментов 15 маркеров, ассоциированных с 11 R-генами устойчивости к различным заболеваниям картофеля, и данные

---

о типах цитоплазм также были внесены в генетические паспорта омских сортов (см. табл. 1-5). По нашим данным, для этих пяти сортов, впервые было показано наличие/отсутствие маркеров *R*-генов, контролирующих устойчивость к патогенам: вирусу PVY (гены  $Ry_{adg}$ ,  $Ry_{sto}$ ,  $Ry-f_{sto}$ ), вирусу PVX (ген  $RxI$ ), цистообразующим картофельным нематодам – *Globodera rostochiensis*, патотипу Ro 1 (ген *HI*) и *Globodera pallida*, патотипам Pa 2-3 (ген *Gpa2*), а также к *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary (гены *R1*, *R3a*).

Маркерами гена *RxI* обладает сорт ‘Хозяюшка’, маркером гена *R1* – сорта ‘Былина Сибири’ и ‘Вечерний Омск’,

*R3a* – ‘Алена’ и ‘Былина Сибири’, маркером гена *Gpa2* – сорт ‘Хозяюшка’. Из пяти сортов только два, ‘Вечерний Омск’ и ‘Хозяюшка’, имели маркеры гена *HI*, контролирующего устойчивость к ЗКН патотипу Ro 1. В Госреестре оба эти сорта отмечены как нематодоустойчивые. Оставшиеся три омских сорта поражаются ЗКН. Маркеры генов устойчивости к PVY у проанализированных омских сортов не обнаружены.

Из пяти омских сортов два, ‘Алена’ и ‘Хозяюшка’, обладали T (T/β) типом цитоплазмы и три сорта, ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’ и ‘Триумф’, – D (W/α) типом.

Таблица 1. Номенклатурный стандарт (WIR - 101814) и генетический паспорт сорта картофеля 'Алена'.  
 Table 1. Nomenclatural standard (WIR - 101814) and genetic passport of potato cultivar 'Alena'

Номенклатурный стандарт		Генетический паспорт / Genetic passport											
Происхождение		Сибирский НИИСХ											
Год внесения в Госреестр		2000											
Код сорта в Госреестре		9703969											
№ патента / дата выдачи		0639 / 15.05.2020											
Авторы:		Дергачева Н.В., Дорожкин Б.Н., Петрякова О.В., Рейтер С.А., Согуляк С.В., Черемисин А.И.											
Метод выведения – сорт получен путем:		Контролируемое скрещивание (Седов × Камераз) × Зарево											
SSR-локус:		Размер (пн):											
STG0016		129; 135; 150											
StH04		73; 76; 79; 100											
StH032		109; 121; 124; 127											
StH033		113; 125											
StH046		191; 194; 200; 203											
STM0037		72; 80; 86											
STM2005		148; 154; 166											
STM5114		286; 295											
Вредный организм:		Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:											
Gen:	PVY	PVX	Phytophthora infestans	Globodera pallida (Pa 2, Pa3)	Globodera rostochiensis (Ro 1)	Тип цитоплазмы							
							Ry <sup>adg</sup>	Ry <sup>st</sup> / Ry <sup>st</sup> -st	Rx1	Rpi-sto1, Rpi-sto1	R1, R3a	Gpa2	Gro1-4, Gro1-4-1
Маркер ссть (+) / нст (0):	YES3-3A	IRx1	Rpi-sto1	R1	RT-R3a	0	0	0	0	0	0	0	0
	YES3-3B	5Rx1	BLV/E/R	R3a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	GP12-22-406/ ECoRV	Ry <sup>st</sup>	Ry <sup>st</sup>	RYSC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	YES3-3V												
	YES3-3A												

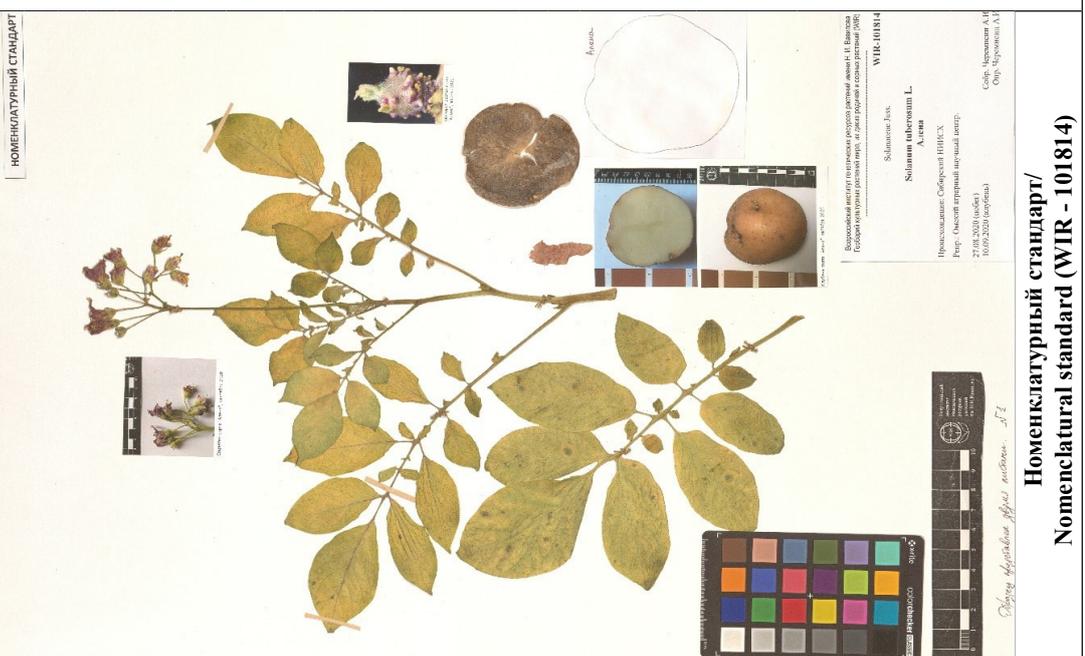




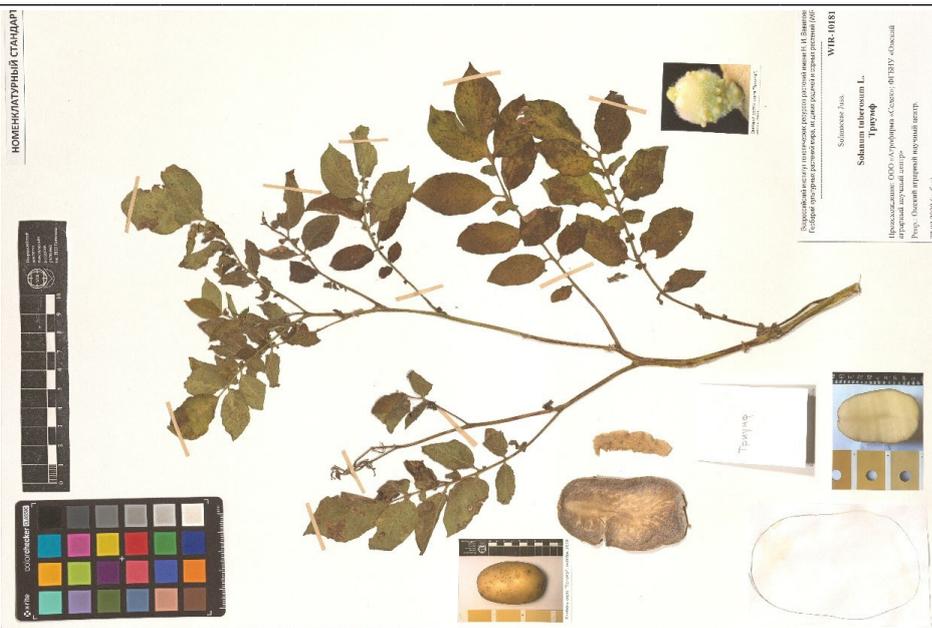
Таблица 3. Номенклатурный стандарт (WIR - 101816) и генетический паспорт предсорта картофеля 'Вечерний Омск'  
 Table 3. Nomenclatural standard (WIR - 101816) and genetic passport of potato cultivar 'Večernij Omsk'

Генетический паспорт / Genetic passport	
Происхождение	ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»
Год внесения в Государственный реестр	2022
Код сорта в Государственном реестре	8057958
№ патента / дата выдачи	12313 / 14.07.2022
Авторы:	Черемисин А.И., Дергачева Н.В., Согуляк С.В., Якимова И.А.
Метод выведения – сорт получен путем:	Контролируемое скрещивание Невский × Гранат
<b>SSR-локус:</b>	<b>Размер (пн):</b>
STG0016	123; 132; 135
StI004	76; 94
StI032	112; 121; 124
StI033	113; 119; 134
StI046	191; 194; 206
STM0037	72; 88
STM2005	166
STM5114	280; 286; 295
Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:	
Вредный организм:	
Gen:	
Маркер ссть (+) / нет (0):	
<i>Ry<sup>sto</sup></i> / <i>Ry<sup>f-sto</sup></i> / <i>Ry<sup>adg</sup></i>	YES3-3A GP122-406/ EcorV RUSC3
PVX	<i>Rx1</i>
<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Rpi-sto1</i> , <i>Rpi-1b1</i> , <i>R1</i> , RT-R3a
<i>Globodera pallida</i> (Pa 2, Pa3)	<i>Gpa2</i>
<i>Globodera rostochiensis</i> (Ro 1)	<i>Gro1-4</i>
Устойчивость к <i>G. rostochiensis</i> (Ro 1) (Горсестр)	
Тип цитоплазмы	
R	+
D (W/α)	+

Номенклатурный стандарт/  
 Nomenclatural standard (WIR - 101816)

Таблица 4. Номенклатурный стандарт (WIR - 101817) и генетический паспорт сорта картофеля 'Триумф'  
 Table 4. Nomenclatural standard (WIR - 101817) and genetic passport of potato cultivar 'Triumf'

Генетический паспорт / Genetic passport												
Происхождение	ООО «Агрофирма «Седек»; ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»											
Год внесения в Госреестр	2019											
Код сорта в Госреестре	8355886											
№ патента / дата выдачи	10936 / 26.02.2020											
Авторы:	Дергачева Н.В., Дубинин С.В., Петрякова О.В., Серегина Н.И., Согуляк С.В., Черемисин А.И., Якимова И.А.											
Метод выведения – сорт получен путем:	Контролируемое скрещивание Невский × Гранат											
<b>SSR-локус:</b>	<b>Размер (пн):</b>											
STG0016	123; 132; 135											
StI004	76; 79											
StI032	109; 121; 124; 127											
StI033	113; 119; 134											
StI046	179; 188; 191; 206											
STM0037	72; 78; 80											
STM2005	148; 190											
STM5114	286; 289; 295											
Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:												
Вредный организм:	PVY	PVX	Phytophthora infestans	Globodera pallida (Pa 2, Pa3)	Globodera rostochiensis (Ro 1)	Устойчивость к <i>G. rostochiensis</i> (Ro 1) (Госреестр)		Тип цитоплазмы				
						Ry <sup>sto</sup> / Ry <sup>f-sto</sup>	Ry <sup>adg</sup>		Rx1	R1	R3a	Gpa2
Маркер еСТЬ (+) / неТ (-)	YESS-3A	YESS-3B	EcoRV	R1	RT-R3a	Gpa2-2	Gro1-4-1	HI	57R	N195	N146	D (W/α)

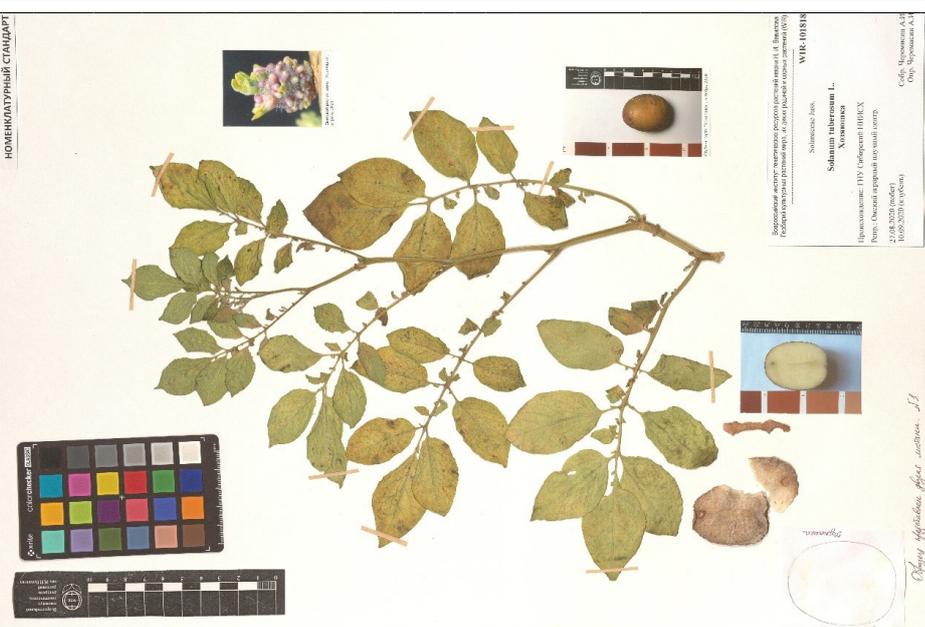


Номенклатурный стандарт/  
 Nomenclatural standard (WIR - 101817)

Таблица 5. Номенклатурный стандарт (WIR - 101818) и генетический паспорт сорта картофеля 'Хозяюшка'  
 Table 5. Nomenclatural standard (WIR - 101818) and genetic passport of potato cultivar 'Hozâûška'

Генетический паспорт / Genetic passport														
Происхождение	ГНУ Сибирский НИИСХ													
Год внесения в Госреестр	2019													
Код сорта в Госреестре	9464177													
№ пагента / дага выдачи	4730 / 21.04.2009													
Авторы:	Дергачева Н.В., Дорожкин Б.Н., Кузьмина С.Г., Петрякова О.В., Согуляк С.В., Черемисин А.И.													
Метод выведения – сорт получен путем:	Сангэ × Зарено													
<b>SSR-локус:</b>	<b>Размер (мм):</b>													
STG0016	132; 150													
SH004	76; 94													
SH032	121; 124; 127													
SH033	113; 131; 137													
SH046	191; 194; 200													
STM0037	72; 86													
STM2005	154; 166													
STM5114	295													
Маркеры R-генов устойчивости к вредным организмам:														
Вредный организм:	Gen:	PVY	PVX	Phytophthora infestans		Globodera pallida (Pa 2, Pa3)			Globodera rostochiensis (Ro 1)			Устойчивость к <i>G. rostochiensis</i> (Ro 1) (Госрегр)	Тип цитоплазмы	
				Rpi-sto1, Rpi-b1b1	R1	R3a	Gpa2	Gro1-4	57R	N195	N146			
		Ry <sup>sto</sup> / Ry <sup>f-sto</sup>	Rx1	Ry <sup>adg</sup>	Ry	Rx1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	R1	
		YES3-3A YES3-3B GP122-406/ EcoRV	1Rx1 5Rx1	RYSC3	BLV1E/R	1Rx1	R1	RT-R3a	Gpa2-2	Gro1-4-1	57R	N195	N146	
Маркер (+) / нет (0):		0	+	0	0	+	0	0	+	0	+	+	+	R
T <sub>Г</sub> (T/β)														

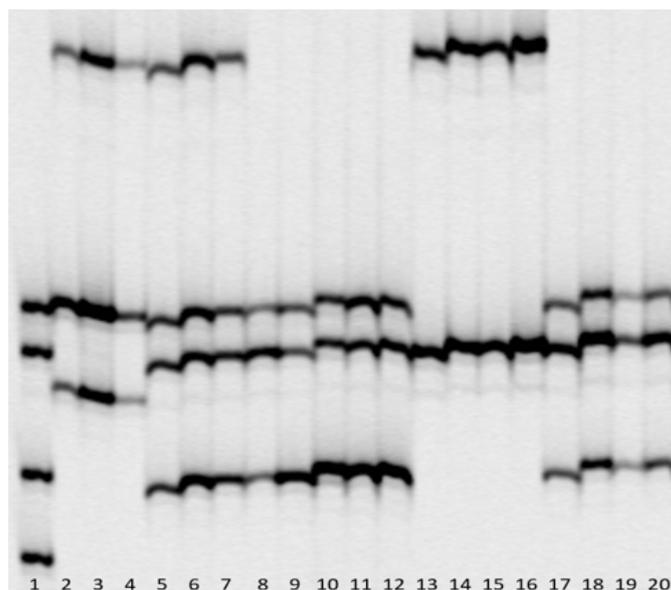
  

Номенклатурный стандарт / Nomenclatural standard (WIR - 101818)	
	

### Использование данных молекулярно-генетических паспортов для проверки идентичности образцов одного и того же сорта, полученных из различных источников

При проведении SSR-анализа и в молекулярном скрининге были использованы восемь дополнительных препаратов ДНК, выделенных из одноименных образцов сортов, полученных из разных источников. Образец сорта

‘Былина Сибири’ был получен из Эколого-географических испытаний КПНИ ЭГИ 2018, пять образцов – из *in vitro* коллекции ВИР (‘Алена’ и-11234, ‘Былина Сибири’ и-638066, ‘Вечерний Омск’ и-638067, ‘Триумф’ и-638068, ‘Хозяюшка’ и-638069) и образец сорта ‘Алена’ из полевой коллекции ВИР (к-12145) (Приложение 2/ Supplement 2). Во всех случаях микросателлитные профили у образцов одного и того же сорта не различались между собой (рис. 1).



**Рис. 1. Сопоставление результатов SSR-генотипирования образцов пяти омских сортов картофеля, сохраняемых в *in vitro* коллекции, с SSR-спектрами номенклатурных стандартов соответствующих сортов; приведен пример для микросателлитного локуса *StI033*.**

Контрольный образец, используемый нами в SSR-анализе сортов картофеля (1). Образцы сортов: ‘Алена’ (2, 3, 4); ‘Былина Сибири’ (5, 6, 7); ‘Вечерний Омск’ (8, 9, 10, **11**, 12); ‘Хозяюшка’ (**13**, 14, 15, 16); ‘Триумф’ (8, 17, 18, **19**). В скобках полужирным шрифтом отмечены образцы каждого сорта, сохраняемые в *in vitro* коллекции. Для сортов ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’ и ‘Хозяюшка’ препараты ДНК, выделенные из растительного материала, переданного авторами в Гербарий ВИР для оформления номенклатурных стандартов, были продублированы.

**Fig. 1. Comparison of SSR genotyping results for samples of five Omsk potato cultivars maintained in *in vitro* collection with SSR spectra of nomenclature standards of respective cultivars; SSR pattern representing microsatellite locus *StI033* is given as an example.**

Control samples (1), ‘Alena’ (2, 3, 4), ‘Bylina Sibiri’ (5, 6, 7), ‘Večernij Omsk’ (8, 9, 10, **11**, 12), ‘Hozâûška’ (**13**, 14, 15, 16), ‘Triumf’ (17, 18, **19**, 20). In brackets, bold type indicates accessions of each cultivar kept in the *in vitro* collection. DNA preparations isolated from plant material of cvs. ‘Bylina Sibiri’ (5, 6, 7), ‘Večernij Omsk’ (8, 9, 10, **11**, 12), ‘Hozâûška’ and transferred by the authors to the VIR Herbarium for registration of nomenclature standards, were duplicated.

Полученные нами результаты молекулярного скрининга были сопоставлены с данными из литературных источников. Разночтения были получены только в одном случае – для образца к-12145 сорта ‘Алена’, у которого в настоящей работе выявлен Т-тип цитоплазмы (см. Приложение 2/ Supplement 2), тогда как в работе Н.С. Клименко у этого же образца (к-12145) был выявлен D-тип цитоплазмы (Klimenko, 2022). В обоих случаях растительный материал для выделения ДНК был получен из

полевой коллекции ВИР, но с разницей в 10 лет – в 2006 и в 2016 годах соответственно. Эти различия могут быть связаны как с техническими ошибками в поддержании образца в полевой коллекции, так и с ошибкой в маркировке препарата ДНК при проведении молекулярного скрининга. Использование в настоящей работе препаратов ДНК номенклатурного стандарта однозначно указывает на Т-тип цитоплазмы у сорта ‘Алена’, которому соответствовало растение образца к-12145, полученное

в 2006 году из полевой коллекции ВИР.

### Анализ родословных омских сортов

Данные молекулярно-генетических паспортов сортов также были сопоставлены с их родословными и с данными литературы, что позволило установить источники разных типов цитоплазм, а также источники генов устойчивости к вредным организмам (рис. 2).

Установлено, что сорта ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’ и ‘Триумф’ получили D-тип цитоплазмы от общей материнской формы (♀) – сорт ‘Невский’, для которого тип цитоплазмы был определен ранее (Gavrilenko et al., 2018) (рис. 2b, c, d). В свою очередь, сорту ‘Невский’ D-тип цитоплазмы был передан от сорта ‘Веселовский 2-4’, который по материнской линии происходит от межвидового гибрида *Solanum demissum* Lindl. × *S. tuberosum*, сорт ‘Перо’ (Kostina, Kosareva, 2017). Эта информация согласуется с данными литературных источников, указывающими на то, что дикий мексиканский вид *S. demissum* является донором D-типа цитоплазмы в мировом селекционном генофонде картофеля (Sanetomo, Hosaka, 2011; Hosaka, Sanetomo, 2012).

Источником T/β типа цитоплазмы омского сорта ‘Хозяюшка’ является голландский сорт ♀ ‘Sante’ (Sanetomo, Gebhardt, 2015) (рис. 2e).

По данным А.И. Черемисина, материнской формой

сорта ‘Алена’ является гибрид (‘Седов’ × ‘Камераз’), для сорта ‘Седов’ тип цитоплазмы не известен (рис. 2a). В то же время, материнской формой сорта ‘Седов’ является ‘Early Rose’, для которого T (T/β) тип был установлен рядом авторов (Hosaka, 1986; Gavrilenko et al., 2007; Sanetomo, Gebhardt, 2015). Поэтому мы предполагаем, что источником T-типа цитоплазмы, в случае сорта ‘Алена’, являются сорта ‘Седов’ и ‘Early Rose’.

Сопоставление данных молекулярного скрининга с родословными сортов и данными литературы также позволяет установить источники R-генов устойчивости. Ранее отмечалось, что селекция нематодоустойчивых сортов является приоритетной для омских селекционеров. Сорту ‘Вечерний Омск’ признак устойчивости к патотипу Ro 1 *G. rostochiensis*, контролируемый геном *H1*, передан от отцовской (♂) формы – от сорта ‘Гранат’ (Klimenko et al., 2017), поскольку материнская форма, сорт ‘Невский’, поражается ЗКН и не обладает данным геном (Gavrilenko et al., 2018) (см. рис. 2c).

Можно полагать, что сорту ‘Хозяюшка’ гены *H1* и *Gra2*, вовлеченные в контроль устойчивости к двум видам цистообразующих картофельных нематод, ЗКН и БКН, были переданы от ♀ родительской формы – нематодоустойчивого голландского сорта ‘Sante’ (Fisenko et al., 2021), так как ♂ форма – сорт ‘Зарево’ – не обладает маркерами этих генов (Klimenko et al., 2017; 2019) (см. рис. 2e).

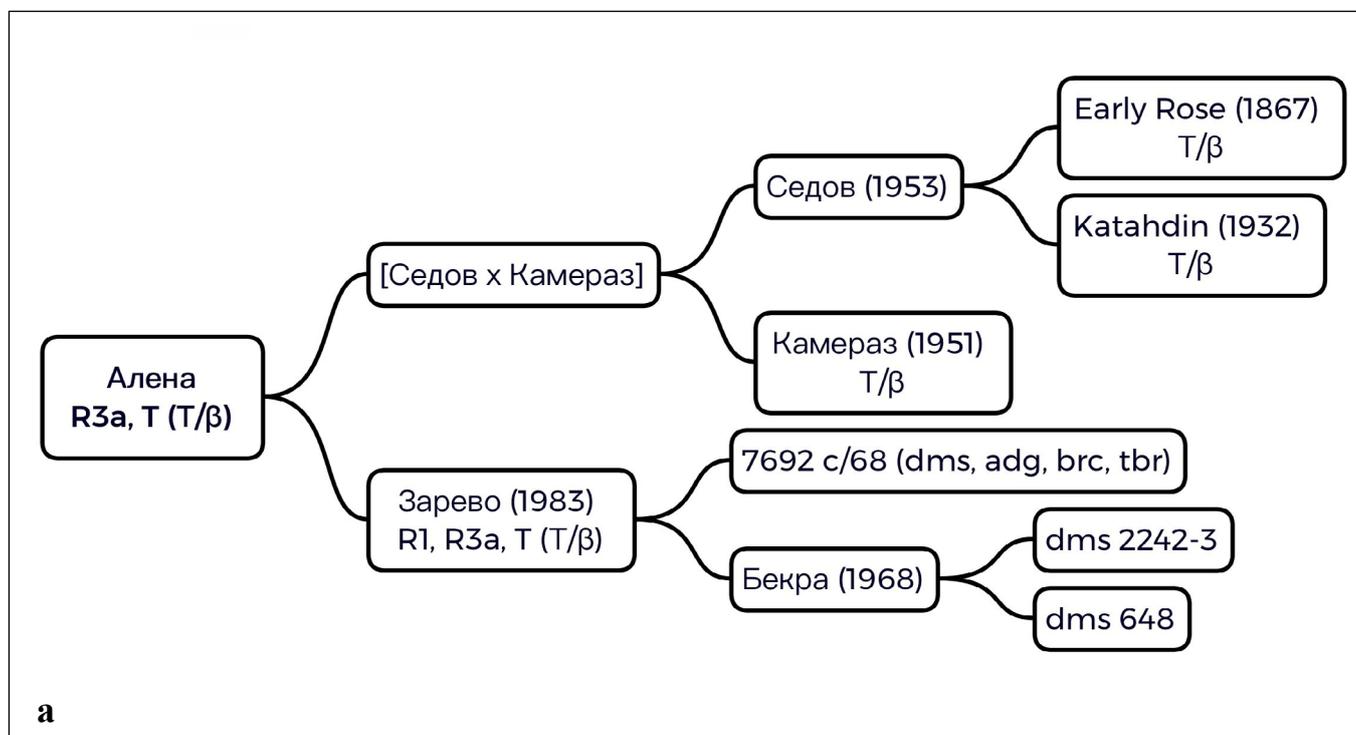
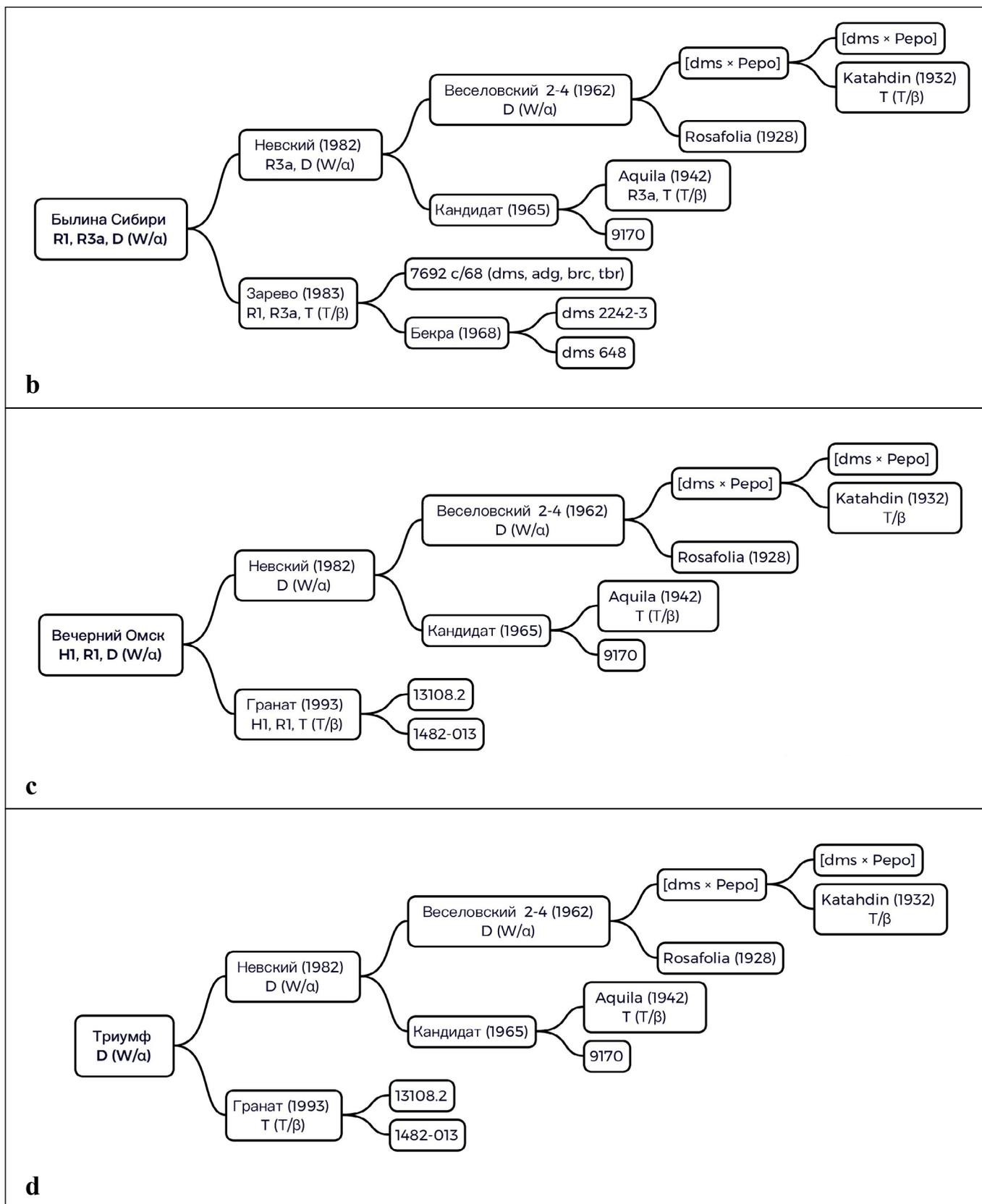
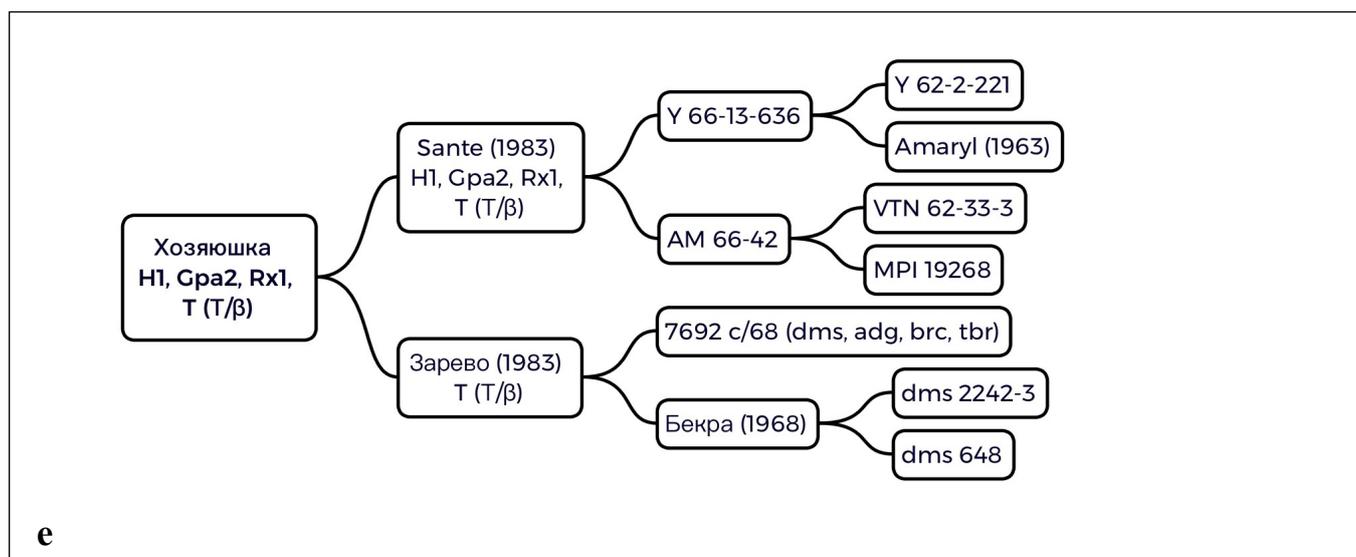


Рис. 2 / Fig. 2

легенду к Рис. 2 см. после Рис.2e/ for the legend to Fig.2 look after Fig.2e



**Рис. 2 / Fig. 2**  
 легенду к Рис. 2 см. после Рис.2e/ for the legend to Fig.2 look after Fig.2e



**Рис. 2. Родословные сортов селекции Омского АНЦ.**  
 (а) ‘Алена’, (b) ‘Былина Сибири’, (c) ‘Вечерний Омск’, (d) ‘Триумф’, (e) ‘Хозяюшка’

**Fig. 2. Pedigrees of cultivars bred at the Omsk Agricultural Research Center.**  
 (a) ‘Alena’, (b) ‘Bylina Sibiri’, (c) ‘Večernij Omsk’, (d) ‘Triumf’, (e) ‘Hozâûška’

Как отмечалось ранее, маркер гена *R3a* выявлен у двух из пяти омских сортов (см. рис. 2а, b, e). Можно предположить, что источником гена *R3a* у сорта ‘Алена’ был сорт ‘Зарево’, в родословной которого, как по материнской, так и по отцовской линии, участвовали межвидовые гибриды с мексиканским видом *S. demissum* (Zoteyeva et al., 2016). Образцы последнего характеризуются устойчивостью к фитофторозу. У сорта ‘Былина Сибири’ источником гена *R3a* могли быть как ‘Невский’, так и ‘Зарево’ (см. рис 2b), у обоих этих сортов маркер гена *R3a* был выявлен ранее (Zoteyeva et al., 2016; Gavrilenko et al., 2018); в их родословных участвовали гибриды с *S. demissum*.

Маркер гена *R1* выявлен у двух омских сортов, ‘Былина Сибири’ и ‘Вечерний Омск’, имеющих одинаковые родительские формы (см. рис. 2b, c). Можно полагать, что отцовская форма этих двух омских сортов, сорт ‘Гранат’, является источником гена *R1*, поскольку у этого сорта маркер *R1* был выявлен ранее (Klimenko, 2022), а у материнской формы (сорт ‘Невский’) маркер этого гена не выявлен (Gavrilenko et al., 2019).

Маркеры гена *Rx1* (контролирующего устойчивость к PVX), выявленные только у одного из пяти омских сортов, у сорта ‘Хозяюшка’, были переданы ему от ♂ формы – сорта ‘Sante’, обладающего маркерами данного гена (Ahmadvand et al., 2013).

### Заключение

Результатом данного исследования является создание пяти номенклатурных стандартов сортов картофеля селекции Омского АНЦ: ‘Алена’, ‘Былина Сибири’, ‘Вечерний Омск’, ‘Триумф’, ‘Хозяюшка’. Все номенкла-

турные стандарты зарегистрированы в Гербарии ВИР (WIR) и переданы на хранение в типовой фонд гербария.

Для этих пяти сортов разработаны генетические паспорта с использованием ДНК-препаратов, выделенных из растительного материала, переданного автором сорта в Гербарий ВИР для создания номенклатурных стандартов. Данные генетических паспортов были использованы для проверки идентичности и однородности восьми одноименных образцов омских сортов, полученных из различных источников.

Проанализированы родословные пяти сортов селекции Омского АНЦ, установлены источники *R*-генов устойчивости и типов цитоплазм.

### Дополнительная информация

Сотрудники ВИР совместно с селекционерами различных регионов РФ оформили около 80 номенклатурных стандартов и гербарных ваучерных образцов российских сортов картофеля (Klimenko et al., 2020; Rybakov et al., 2020; Fomina et al., 2020a;b). Ниже приведен список образцов трех сортов, которые ранее были зарегистрированы в Гербарии ВИР как ваучерные образцы, поскольку на момент соответствующих публикаций (2020 год) они не были включены в Госреестр РФ, так как еще участвовали в ГСИ. За прошедший период эти предсорты были зарегистрированы в Госреестре РФ (табл. 6), поэтому ваучерным образцам, хранящимся в Гербарии ВИР, присвоен статус номенклатурных стандартов. Отметим, что в цитированных выше статьях были опубликованы результаты генотипирования предсортов, которые можно рассматривать как генетические паспорта этих сортов.

**Таблица 6. Ваучерные образцы, которым присвоен статус номенклатурных стандартов**

**Table 6. Voucher specimens, which were assigned the status of nomenclatural standard**

Сорт, название/ Cultivar name	Код Госреестра/ State Registry code	Номенклатурный стандарт/ Nomenclatural standard	Ссылка на публикацию/ Reference
‘Калибр’	8057136	WIR-53979	Klimenko et al., 2020
‘Сальса’	8153548	WIR-53985	Fomina et al., 2020a
‘Сердолик’	8057596	WIR-53980	Klimenko et al., 2020

**References / Литература**

Ahmadvand R., Wolf I., Gorji A.M., Polgár Z., Taller J. Development of Molecular Tools for Distinguishing Between the Highly Similar *Rx1* and *Rx2* PVX Extreme Resistance Genes in Tetraploid Potato. *Potato Research*. 2013;56(4):277-291. DOI: 10.1007/s11540-013-9244-y

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. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):693-702. DOI: 10.18699/VJ18.412

Antonova O.Y., Shvachko N.A., Novikova L.Y., Shuvalov O.Y., Kostina L.I., Klimenko N.S., Shuvalova A.R., Gavrilenko T.A. Genetic diversity of potato varieties bred in Russia and near-abroad countries based on polymorphism of SSR-loci and markers associated with resistance *R*-genes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(5):596-606. [in Russian] (Антонова О.Ю., Швачко Н.А., Новикова Л.Ю., Шувапов О.Ю., Костина Л.И., Клименко Н.С., Шувапова А.Р., Гавриленко Т.А. Генетическое разнообразие сортов картофеля российской селекции и стран ближнего зарубежья по данным полиморфизма SSR-локусов и маркеров *R*-генов устойчивости. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(5):596-606). DOI: 10.18699/VJ16.181

Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Rybakov D.A., Fomina N.A., Zheltova V.V., Novikova L.Yu., Gavrilenko T.A. SSR analysis of modern Russian potato varieties using DNA samples of nomenclatural standards. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020. 2020;3(4):77-96. [in Russian] (Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Рыбаков Д.А., Фомина Н.А., Желтова В.В., Новикова Л.Ю., Гавриленко Т.А. SSR-анализ современных российских сортов картофеля с использованием ДНК номенклатурных стандартов. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(4):77-96). DOI:10.30901/2658-6266-2020-4-02

Asano K., Kobayashi A., Tsuda S., Nishinaka M., Tamiya S. DNA marker-assisted evaluation of potato genotypes for potential resistance to potato cyst nematode pathotypes not yet invading into Japan. *Breeding Science*. 2012;62(2):142-150. DOI: 10.1270/jsbbs.62.142

Ballvora A., Ercolano M.R., Weiss J., Meksem K., Bormann C.A., Oberhagemann P., Salamini F., Gebhardt C. The *R1* gene for potato resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) belongs to the leucine zipper/NBS/LRR class of plant resistance genes. *The Plant Journal*. 2002;30(3):361-371. DOI: 10.1046/j.1365-313X.2001.01292.x

Bisgonin D.A., Douches D.S. Genetic diversity in diploid and tetraploid late blight resistant potato germplasm. *HortScience*. 2002;37(1):178-183. DOI: 10.21273/HORTSCI.37.1.178

Brickell C.D., Alexander C., Cubey J.J., David J.C., Hoffman M.H.A., Leslie A.C., Malécot V., Xiaobai Jin (eds). International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. *Scripta Horticulturae*. 2016;18:1-XVII+1-190.

Bryan G.J., McNicoll J., Ramsay G., Meyer R.C., De Jong W.S. Polymorphic simple sequences repeat markers in chloroplast genomes of Solanaceous plants. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999;99(5):859-867. DOI: 10.1007/s001220051306

Cheremisin A.I., Dergacheva N.V., Shmaylova Y.S. Breeding and seed-growing work on the potato in Omsk Region. *Achievement of science and technology of the agro-industrial complex*. 2008;12:20-23. [in Russian] (Черемисин А.И., Дергачева Н.В., Шмайлова Ю.С. Селекционная и семеноводческая работа по картофелю в Омской области. *Достижение науки и техники АПК*. 2008;12:20-23).

Feingold S., Lloyd J., Norero N., Bonierbale M., Lorenzen J. Mapping and characterization of new EST-derived microsatellites for potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;111(3):456-466. DOI: 10.1007/s00122-005-2028-2

Fisenko P., Sobko O., Kim I., Matsishina N., Volkov D. Screening of potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) and identification of markers of resistance genes to PVX, PVY, *Globodera Pallida* and *Globodera Rostochiensis*. In: Muratov A., Ignateva S. (eds.). *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021)*. AFE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 353. Springer; 2022. p.1-8. DOI: 10.1007/978-3-030-91402-8\_1

Flis B., Hennig J., Strzelczyk-Zyta D., Gebhardt C., Marczewski W. The *Ry-f<sub>stb</sub>* gene from *Solanum stoloniferum* for extreme resistant to *Potato virus Y* maps to potato chromosome XII and is diagnosed by PCR marker GP122<sub>18</sub> in PVY resistant potato cultivars. *Molecular Breeding*. 2005;15(1):95-101. DOI: 10.1007/s11032-004-2736-3

Fomina N.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Gimaeva E.A., Stashevski Z., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred by the Tatar Research Institute of Agriculture “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020a;3(3):55-67. [in Russian] (Фомина Н.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Гимаева Е.А., Сташевски З., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Татарского НИИСХ «Казанский научный центр РАН». *Биотехнология и селекция растений*. 2020a;3(3):55-67). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-04

Fomina N.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Rybakov D.A., Safonova A.D., Meleshin A.A., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards, voucher specimens and genetic passports of potato cultivars created in the Siberian and Ural breeding centers. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020a;3(4):53-76. [in Russian] (Фомина Н.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Рыбаков Д.А., Сафонова А.Д., Мелешин А.А., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты, ваучерные образцы и генетические паспорта сортов картофеля, выведенных в селекционных центрах Сибири и Урала. *Биотехнология и селекция растений*. 2020b;3(4):53-76). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-4-03

Gavrilenko T.A., Antonova O.Y., Kostina L.I. Study of genetic diversity in potato cultivars using PCR analysis of organelle DNA. *Russian Journal of Genetics*. 2007;43(11):1301-1305. DOI: 10.1134/S1022795407110130

Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (WIR): A new approach to cultivar gene pool registration in a genebank. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):6-17. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (WIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):6-17). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-02

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., Alpatieva 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. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):753-764. DOI: 10.18699/VJ19.534
- 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. *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., Мамадобкирова 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
- Ghislain M., Nunez J., Herera M. del R., Pignataro J., Guzman F., Bonierbale M., Spooner D.M. Robust and highly informative microsatellite-based genetic identity kit for potato. *Molecular Breeding*. 2009;23:377-388. DOI: 10.1007/s11032-008-9240-0
- Hosaka K. Distribution of the 241 bp deletion of chloroplast DNA in wild potato species. *American Journal of Potato Research*. 2002;79(2):119-123. DOI: 10.1007/BF02881520
- Hosaka K. Who is the mother of the potato? – restriction endonuclease analysis of chloroplast DNA of cultivated potatoes. *Theoretical and Applied Genetics*. 1986;72(5):606-618. DOI: 10.1007/BF00288998
- 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(6):1237-1251. DOI: 10.1007/s00122-012-1909-4
- Huang S., van der Vossen E.A.G., Kuang H., Vleeshouwers V.G.A.A., Zhang N., Borm T.J.A., van Eck H.J., Baker B., Jacobsen E., Visser R.G.F. Comparative genomics enabled the isolation of the *R3a* late blight resistance gene in potato. *The Plant Journal*. 2005;42(2):251-261. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2005.02365.x
- Kasai K., Morikawa Y., Sorri V.A., Valkonen J.P.T., Gebhardt C., Watanabe K.N. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ry<sup>adg</sup>* based on a common feature of plant disease resistance genes. *Genome*. 2000;43(1):1-8. DOI: 10.1139/g99-092
- Klimenko N.S. Genetic diversity of potato varieties studied using different types of DNA markers (Geneticheskoye raznoobrazie sortov kartofelya otechestvennoy selektsii, izuchennoye s ispolzovaniyem razlichnykh tipov DNK-markirov) [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2022. [in Russian] (Клименко Н.С. Генетическое разнообразие сортов картофеля отечественной селекции, изученное с использованием различных типов ДНК-маркеров: дис. канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2022).
- Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G., Gadzhiev N.M., Evdokimova Z.Z., Lebedeva V.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture “Belogorka”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):18-54. [in Russian] (Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г., Гаджиев Н.М., Евдокимова З.З., Лебедева В.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка». *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):18-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-03
- Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Zheltova V.V., Fomina N.A., Kostina L.I., Mamadbokirova F.T., Gavrilenko T.A. Screening of Russian potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) with DNA markers linked to the genes conferring extreme resistance to Potato Virus Y. *Agricultural Biology* 2019;54(5):958-969. [in Russian] (Клименко Н.С., Антонова О.Ю., Желтова В.В., Фомина Н.А., Костина Л.И., Мамадобкирова Ф.Т., Гавриленко Т.А. Скрининг сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) российской селекции с помощью маркеров R-генов устойчивости к Y-вирусу картофеля. *Сельскохозяйственная биология*, 2019;54(5):958-969). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.958rus
- Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Kostina L.I., Mamadbokirova F.T., Antonova O.Yu. Search for resistance sources to *Globodera pallida* and potato virus X in the collection of potato varieties using molecular markers. *Plant biotechnology and Breeding*. 2019;2(1):42-48. [in Russian] (Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Костина Л.И., Мамадобкирова Ф.Т., Антонова О.Ю. Поиск источников устойчивости к *Globodera pallida* и к PVX в коллекции отечественных сортов картофеля с использованием молекулярных маркеров. *Биотехнология и селекция растений*. 2019;2(1):42-48). DOI: 10.30901/2658-6266-2019-1-42-48
- Komarov V.I., Zhuludeva Z.P., Kostina L.I., Shinkarev V.I. Catalog of the world collection of VIR. Vol. 382. Potato (Kartofel). Budin K.Z. (ed.). Leningrad: VIR; 1983. [in Russian] (Комаров В.И., Жолудева З.П., Костина Л.И., Шинкарев В.И. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 382. Картофель / под редакцией К.З. Будина. Ленинград; 1983).
- Kostina L.I., Fomina V.E. Catalog of the VIR world collection. Issue 721. Potato varieties of Russia and the CIS (Sorta kartofelya Rossii i SNG). Blinova N.M. (ed.). St. Petersburg: VIR; 2000. [in Russian] (Костина Л.И., Фомина В.Е. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 721. Сорта картофеля России и СНГ / под редакцией Н.М. Блиновой. Санкт-Петербург; 2000).
- Kostina L.I., Fomina V.E., Bychkov D.A., Kirpicheva T.V. Catalog of the world collection of VIR. Issue 719. Potatoes (varieties with high starch content) (Kartofel (sorta s vysokim soderzhaniiem krahmala)). Zorina V.P. (ed.). St. Petersburg: VIR; 2002. [in Russian] (Костина Л.И., Фомина В.Е., Бычков Д.А., Кирпичева Т.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 719. Картофель (сорта с высоким содержанием крахмала) / под редакцией В.П. Зориной. Санкт-Петербург; 2002).
- Kostina L.I., Fomina V.E., Kosareva O.S. Catalog of the world collection of VIR. Issue 770. Potatoes. Nematode resistant varieties (Kartofel. Nematodoustojchivye sorta). Kiru S.D. (ed.). St. Petersburg: VIR; 2005. [in Russian] (Костина Л.И., Фомина В.Е., Косарева О.С. Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 770. Картофель. Нематодоустойчивые сорта / под редакцией С.Д. Киру. Санкт-Петербург; 2005).
- Lössl A., Götz M., Braun A., Wenzel G. Molecular markers for cytoplasm in potato: male sterility and contribution of different plastid-mitochondrial configurations to starch production. *Euphytica*. 2000;116(3):221-230. DOI: 10.1023/A:1004039320227
- Milbourne D., Meyer R.C., Collins A.J., Ramsay L.D., Gebhardt C., Waugh R. Isolation, characterisation and mapping of simple sequence repeat loci in potato. *Molecular and General Genetics*. 1998;259:233-245. DOI: 10.1007/s004380050809
- Mori K., Sakamoto Y., Mukojima N., Tamiya S., Naka T., Ishii T., Hosaka K. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. *Euphytica*. 2011;180(3):347-355. DOI: 10.1007/s10681-011-0381-6
- Muller K.O., Behr L. ‘Mechanism’ of *Phytophthora* resistance of potatoes. *Nature*. 1949;163(4143):498-499. DOI: 10.1038/163498a0
- Rybakov D.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Fomina N.A., Klimenko N.S., Zheltova V.V., Meleshin A.A., Kochieva E.Z., Oves E.V., Apshev Kh.Kh., Simakov E.A., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the A.G. Lorkh All-Russian Potato Research Institute of Potato Farming. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(4):5-52. [in Russian] (Рыбаков Д.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Фомина Н.А., Клименко Н.С., Желтова В.В., Мелешин А.А., Кочиева Е.З., Овэс Е.В., Апшев Х.Х., Симаков Е.А., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Всероссийского научно-исследовательского института картофеля им. А.Г. Лорха. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(4):5-52). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-4-01

- Sanetomo R., Gebhardt C. Cytoplasmic genome types of European potatoes and their effects on complex agronomic traits. *BMC Plant Biology*. 2015;15(1):1-16. DOI: 10.1186/s12870-015-0545-y
- Sanetomo R., Hosaka K. A maternally inherited DNA marker, descended from *Solanum demissum* ( $2n = 6x = 72$ ) to *S. tuberosum* ( $2n = 4x = 48$ ). *Breeding Science*. 2011;61(4):426-434. DOI: 10.1270/jsbbs.61.426
- Schultz L., Cogan N.O.I., McLean K., Dale M.F.B., Bryan G.J., Forster J.N.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(2):315-321. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2012.01949.x
- Song Y.-S., Schwarzfischer A. Development of STS markers for selection of extreme resistance ( $Ry_{st0}$ ) to PVY and maternal pedigree analysis of extremely resistant cultivars. *American Journal of Potato Research*. 2008;85(2):159-170. DOI: 10.1007/s12230-008-9012-8
- Takeuchi T., Sasaki J., Suzuki T., Horita H., Hiura S., Iketani S., Fujita R., Senda K. DNA markers for efficient selection of disease and pests resistance genes in potato [in Japanese]. *Hokkaido Nogyo-Shiken-Kaigi-Shiryo* 2008. 2009;1-26.
- Valkonen J., Wiegmann K., Hämäläinen J., Marczewski W., Watanabe K. Evidence for utility of the same PCR-based markers for selection of extreme resistance to *Potato virus Y* controlled by  $Ry_{st0}$  of *Solanum stoloniferum* derived from different sources. *Annals of Applied Biology*. 2008;152(1):121-130. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2007.00194.x
- van Berloo R., Hutten R.C.B., van Eck H.J., Visser R.G.F. An online potato pedigree database resource. *Potato Research*. 2007;50(1):45-57. DOI: 10.1007/s11540-007-9028-3
- Wang M., Allefs A., van den Berg R.G., Vleeshouwers V.G.A.A., van der Vossen E., Vosman B. Allele mining in *Solanum*: conserved homologues of *Rpi-blb1* are identified in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116(7):933-943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3
- Zhu S., Li Y., Vossen J.H., Visser R.G.F., Jacobsen E. Functional stacking of three resistance genes against *Phytophthora infestans* in potato. *Transgenic Research*. 2012;21(1):89-99. DOI: 10.1007/s11248-011-9510-1
- Zoteyeva N., Skrabule I., Mežaka I., Vilcāne D., Usele G., Rostoks N. The impact of *R1* and *R3a* genes on tuber resistance to late blight of the potato breeding clones. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2016;70(2):58-63. DOI: 10.1515/prolas-2016-0010

### Информация об авторах

**Даниил Александрович Рыбаков**, младший научный сотрудник, отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, da-rybakov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1520-0219>

**Александр Иванович Черемисин**, кандидат с.-х. наук, заведующий отделом картофеля, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», 644012 Россия, Омская область, г. Омск, пр. Королева, 26, biocentr@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8070-0661>

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

**Ирена Георгиевна Чухина**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

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

### Information about the authors

**Daniil A. Rybakov**, Junior Researcher, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, da-rybakov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1520-0219>

**Alexander I. Cheremisin**, Cand. Sci. (Agriculture), Head, Potato Department, Federal State Budgetary Scientific Institution "Omsk Agrarian Research Center", 26, Korolev Avenue, Omsk, Omsk Region, 644012 Russia, biocentr@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8070-0661>

**Olga Yu. Antonova**, Cand. Sci. (Biology), Head of laboratory, 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>

**Irena G. Chukhina**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

**Tatjana A. Gavrilenko**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head of the Biotechnology Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 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 28.11.2022; одобрена после рецензирования 15.12.2022; принята к публикации 27.12.2022.

The article was submitted on 28.11.2022; approved after reviewing on 15.12.2022; accepted for publication on 27.12.2022.

Методическая статья

УДК 634.711:631.527:631.526.32:578.083:57.043

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-05



## Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генбанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной

Т. А. Гавриленко, С. Е. Дунаева, О. А. Тихонова, И. Г. Чухина

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

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

В ВИР создается коллекция номенклатурных стандартов отечественных сортов различных культур в виде гербарных образцов в соответствии с положениями Международного кодекса номенклатуры культурных растений. Для вегетативно размножаемых культур была предложена новая комплексная стратегия регистрации в генбанке ВИР отечественных сортов, поступивших от их авторов, которая включает помимо создания номенклатурных стандартов разработку генетического паспорта сорта и применение биотехнологических методов для сохранения в живом виде эксплантов (почки, меристемы), выделенных из растительного материала, переданного селекционерами в Гербарий ВИР. Данный подход может быть применен к любым вегетативно размножаемым культурам, при этом для разных культур разрабатываются специальные протоколы. Для сортов малины и смородины черной сбор растительного материала, его подготовка к оформлению номенклатурных стандартов и сохранению образцов в живом виде в контролируемых условиях *in vitro* имеет свои особенности. В настоящей статье приведены детальные протоколы для проведения этих работ. Кроме того, в статье обобщены первые результаты реализации предложенной нами стратегии на примере отечественных сортов малины обыкновенной и смородины черной, созданных в различных селекционных центрах нашей страны. Итогом трехлетних совместных работ сотрудников ВИР и селекционеров из четырех селекцентров, расположенных в пяти округах страны, является создание номенклатурных стандартов двадцати сортов малины, а также пяти сортов смородины черной селекции ВИР. В культуру *in vitro* введены образцы 13 сортов малины обыкновенной и образцы четырех сортов смородины черной, генетически идентичные номенклатурным стандартам; четыре сорта малины заложены в криобанк ВИР на долгосрочное хранение.

**Ключевые слова:** *Rubus idaeus* L., *Ribes nigrum* L., селекционные сорта, гербарные образцы, номенклатурные стандарты, коллекция *in vitro*, криоконсервация

**Благодарности:** Работа выполнена по теме НИР № 0481-2022-0004 «Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей» и темы НИР № 0481-2022-0006 «Раскрытие научного потенциала гербарной коллекции ВИР как особой специфической единицы хранения мирового агробиоразнообразия для научно обоснованной мобилизации, эффективного изучения и сохранения генофонда культурных растений и их диких родичей». Авторы благодарят Д.А. Рыбакова, м.н.с., аспиранта отдела биотехнологии ВИР за оформление рисунка 1 с использованием компьютерной графики.

**Для цитирования:** Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Чухина И.Г. Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генбанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):24-38. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-05

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.

© Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Чухина И.Г., 2022

## Methodological article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o5

## New approaches to registration and conservation of domestic cultivars of berry crops in the VIR Genebank on the example of red raspberry and black currant

Tatjana A. Gavrilenko, Svetlana E. Dunaeva, Olga A. Tikhonova, Irena G. Chukhina

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

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

A collection of nomenclatural standards is being created at VIR for domestic cultivars of various crops in accordance with the International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP). A new complex strategy was proposed for vegetatively propagated crops for registering domestic cultivars received from their authors in the VIR genebank. In addition to the creation of nomenclature standards, the strategy includes the development of a genetic passport of a cultivar and the use of biotechnological methods to preserve explants (buds, meristems) isolated from plant material transferred by breeders to the VIR Herbarium. This approach can be used for any vegetatively propagated crop applying a protocol developed specifically for an individual crop. For raspberry and black currant varieties, the collecting of plant material, its preparation for the registration of nomenclature standards and the preservation of viable samples under controlled *in vitro* conditions have specific features. This article provides detailed protocols for performing the mentioned work for raspberry and black currant varieties. In addition, the article summarizes the first results of the implementation of our proposed strategy on the example of domestic raspberry and black currant varieties created in various breeding centers of Russia. Three years of joint work of VIR researchers and breeders from four breeding centers in five regions of the country have resulted in creation of nomenclature standards for 20 raspberry varieties, as well as for five black currant varieties bred at VIR. Samples of thirteen raspberry cultivars and samples of four black currant cultivars, genetically identical to nomenclature standards, were introduced into *in vitro* culture; four raspberry cultivars have been placed in the VIR cryobank for the long-term cryopreservation.

**Key words:** *Rubus idaeus* L., *Ribes nigrum* L., cultivars, herbarium specimens, nomenclatural standards, *in vitro* collections, cryogenic conservation

**Acknowledgements:** The work was performed in accordance with the research theme No. 0481-2022-0004 “Improvement of approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified gene pool of vegetatively propagated crops and their wild relatives” and the research theme No. 0481-2022-0006 “Disclosing the scientific potential of the herbarium collection at VIR as an independent specific unit of worldwide agricultural biodiversity conservation for scientifically justified mobilization, effective studying and preservation of genetic diversity”. The authors thank D.A. Rybakov, Junior Researcher, doctoral student at the Department of Biotechnology of VIR, for the use of computer graphics and the design of Figure 1.

**For citation:** Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Chukhina I.G. New approaches to registration and conservation of domestic cultivars of berry crops in the VIR Genebank on the example of red raspberry and black currant. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):24-38. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-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 authors, and their employers.

© Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Chukhina I.G., 2022

## Введение

В основе наименования любого культурного растения лежит латинское название вида, номенклатура которого регламентируется Международным кодексом номенклатуры грибов, водорослей и растений (International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants – ICN Shenzhen Code) (Turland et al., 2018). В ICN прописаны правила наименования таксонов, применение которых определяется посредством номенклатурных типов. При названии сортов (cultivars) требуется следовать правилам и рекомендациям Международного кодекса номенклатуры культурных растений (МКНКР) (International Code of Nomenclature for Cultivated Plants) (Brickell et al., 2016). В МКНКР объединены принципы, правила и рекомендации по названию сортов и закреплено положение о том, что для стабилизации применения названий сортов важны создание, сохранение и публикация номенклатурных стандартов, позволяющих закрепить наименование сорта и засвидетельствовать его внешний вид. МКНКР содержит разделы, касающиеся регистрации и требований к номенклатурным стандартам. Предпочтительно, чтобы номенклатурный стандарт был представлен гербарным образцом, сохраняемым в научной гербарной коллекции, с указанием места хранения. Номенклатурные стандарты, с которыми на постоянной основе соотносятся названия сортов, имеют большое значение для защиты авторских прав создателей сорта, а также позволяют избежать повторного использования названия сорта.

В 2017 году в ВИР была инициирована новая комплексная стратегия, направленная на развитие подходов и методов регистрации в генбанке отечественных сортов вегетативно размножаемых культур (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Это направление реализуется в совместных исследованиях сотрудников ВИР и селекционеров - авторов сортов. Предложенная комплексная стратегия позволяет документировать сорт с помощью номенклатурного стандарта, дополненного молекулярно-генетическим паспортом, а также сохранять генотипированный образец сорта в живом виде в контролируемых условиях *in vitro* коллекции, и долгосрочно хранить его в криобанке. Молекулярно-генетический паспорт сорта разрабатывается с использованием ДНК, выделенной из растительного материала, переданного в гербарий автором сорта. Биотехнологические подходы используются для сохранения в живом виде образца сорта в контролируемых условиях *in vitro* и крио коллекций; экспланты, для введения образца сорта в культуру *in vitro*, берут из растительного материала, собранного автором/соавтором или, в их отсутствие, специалистом по культуре, и переданного в Гербарий культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений ВИР (WIR), для оформления номенклатурного стандарта.

Комплексный подход к регистрации и сохранению в контролируемых условиях в генбанке отечественных сортов, разработанный в ВИР, может быть приме-

нен к любым вегетативно размножаемым культурам. На сегодняшний день такой подход наиболее активно реализуется для сортов картофеля российской селекции (Klimenko et al., 2020; Rybakov et al., 2020). Первые работы по оформлению номенклатурных стандартов отечественных сортов ягодных культур еще не включали молекулярно-генетические и биотехнологические подходы. В этих работах были обнародованы номенклатурные стандарты сортов малины алтайской селекции (Kamnev et al., 2021), а также сортов смородины черной, выведенные в ВИР (Tikhonova et al., 2021) и на Свердловской селекционной станции садоводства (Bagmet et al., 2021; 2022).

Для реализации комплексной программы регистрации и сохранения отечественных сортов в генбанке для разных культур разрабатывают специальные протоколы (Gavrilenko, Chukhina, 2020). Для сортов малины обыкновенной и смородины черной сбор растительного материала, его подготовка к оформлению номенклатурных стандартов и сохранение их в живом виде в контролируемых условиях среды имеют свои особенности. Детальные протоколы для этих ягодных культур представлены в настоящей статье.

### **Протокол сбора растительного материала для оформления номенклатурных стандартов сортов малины, отбора материала для выделения ДНК и для введения сортов в культуру *in vitro*.**

#### **А. Комплекс работ, проводимых в селекционных центрах, где создавался сорт.**

##### **А.1. Выбор растительного материала для создания номенклатурного стандарта.**

Автор(ы)/соавтор(ы) или, в их отсутствие, специалист (куратор) по данной культуре отбирает растительный материал на опытном поле своей организации для передачи в Гербарий ВИР. Выбранное растение, возделываемое в полевых условиях на естественном инфекционном фоне, не должно иметь признаков повреждения болезнями и вредителями. Производят отбор растения с полностью развитыми однолетними побегами (турионами) и двухлетними побегами, отрастающими от одного и того же корневища. Желательно, чтобы побеги второго года имели сформированные репродуктивные органы: соцветия, цветки, ягоды. Выбранное растение помечают этикеткой, чтобы, в случае необходимости, оставалась возможность для повторного взятия материала именно с этого растения.

##### **А.2. Подготовка растительного материала к передаче в ВИР.**

До отбора растительного материала с этикетированного растения селекционером самостоятельно или совместно с сотрудником ВИР проводится фотодокументирование морфологических признаков побега: наличие/ отсутствие антоциана на стебле; наличие/ отсутствие шипов, их фор-

ма и плотность распределения на стебле в расчете на 10 см длины в средней части стебля; признаков листовой пластинки с учётом преобладающего числа листочков, относительного положения боковых листочков, формы центрального листочка, зубчатости по краям листочков, морщинистости, опушения, особенно с нижней стороны; признаков латералов (плодовых веточек), в особенности опушения, цветоножки по наличию/ отсутствию антоциана, шипов, длины опушения относительно диаметра цветоножки, цветка по размеру и положению тычинок относительно пестиков, по размеру и характеру опушения чашелистиков, а также ягод по размеру, форме, опушению и сочности. Важно сфотографировать комплекс наиболее выраженных сортоспецифичных признаков побегов, листа, цветков, плодов, указанных в официальных документах – в Описании селекционного достижения и Анкете сорта. Эти фотографии в электронной или в печатной форме впоследствии пересылают в Гербарий ВИР.

Если по какой-либо причине невозможно провести фотодокументирование при отборе растительного материала в селекцентре, эта работа проводится после передачи его образцов в ВИР.

### **А.3. Передача однолетних и двухлетних побегов образцов сортов из селекцентра в ВИР.**

Побеги текущего года (турионы) и побеги второго года (генеративные побеги) срезают у корневища этикетированного растения (рис.1).

3.1. Срезанный однолетний побег разрезают на три части, из них верхнюю, среднюю и лист из средней трети вкладывают в отдельные подписанные бумажные пакеты:

3.1.1. верхняя треть побега (желательно длиной не менее 30 см);

3.1.2. средняя треть побега;

3.1.3. наиболее развитый лист из средней трети однолетнего побега.

3.2. Срезанный двухлетний побег разрезают на три части. В отдельные подписанные бумажные пакеты вкладывают:

3.2.1. среднюю треть побега;

3.2.2. один-два латерала, а именно одну-две плодовые веточки.

3.3. Во все пакеты с растительным материалом вкладывают этикетки с указанием названия сорта, обозначением вложенного растительного материала, датой его отбора, а также фамилии коллектора. Далее пакеты пересылают в Гербарий ВИР.

4. Дополнительно у селекционера запрашивают взятый от того же этикетированного куста **отпрыск с отрезком**

**корневища**, который будет высажен в полевой коллекции ВИР.

5. Вместе с растительным материалом в ВИР передают **копии официальных документов**, включая: «Описание селекционного достижения» по форме RTG/01/3, «Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность», форма 498 «Анкета сорта», «Авторское свидетельство», Патент, если он был оформлен. Пример такого пакета документов для сорта малины 'Антарес' приведен в Приложении 1/ Supplement 1<sup>1</sup>.

6. Перед отправкой в ВИР подготовленных пакетов с растительным материалом оформляют **Акт передачи растительного материала из селекцентра в ВИР**: в Гербарий ВИР – с целью оформления номенклатурного стандарта сорта; в отдел биотехнологии ВИР – с целью проведения молекулярно-генетической паспортизации и введения сорта в коллекцию *in vitro* ВИР. Форма Акта приведена в Приложении 2/ Supplement 2. В Акте передачи растительного материала указывают: названия сортов, число переданных побегов каждого сорта, дата передачи, Ф.И.О., должность и место работы автора/соавтора сорта/специалиста (куратора) по данной культуре, подпись с расшифровкой. Акт должен быть заверен печатью организации.

### **Б. Комплекс работ, проводимых с растительным материалом, поступившим из селекцентра в Гербарий ВИР**

7. **Сотрудник Гербария ВИР**, принимающий растительный материал, **заверяет его приемку в переданном Акте**, указывая дату, Ф.И.О., должность и место работы, ставит подпись с расшифровкой и печать ВИР.

8. Из переданных селекционерами пакетов (3.1.2, 3.1.3, 3.2.1, 3.2.2) в Гербарии ВИР извлекают растительный материал для проведения гербаризации. Исключением является один пакет с верхней третью однолетнего побега (3.1.1), который сразу передают в отдел биотехнологии ВИР (см. ниже пункт **13**) и отпрыск с отрезком корневища (**4**), который передают в полевую коллекцию ВИР.

8.1. Если в селекцентре перед отправкой материала в ВИР фотодокументирование морфологических признаков не проводилось, то при получении материала эта работа проводится в Гербарии ВИР (см. подробнее пункт протокола **2**). Растительный материал, переданный в Гербарий ВИР, фотографируют прежде всего для документирования признаков сорта, которые могут измениться в процессе высушивания. Например, изменению подвержена антоциановая окраска различных частей растения. Ряд морфологических признаков сорта можно верифицировать

<sup>1</sup> Приложения доступны в онлайн версии статьи / Supplementary materials are available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o5

позднее, на высушенном гербарном материале.

**9. Сушку и монтирование высушенных частей растения** проводят в соответствии с методическими указаниями «Гербаризация культурных растений» (Belozor, 1989). Дополнительно на гербарных листах размещают и высушенные цветки, плоды и/или их фотографии.

**10. Гербарная этикетка** должна содержать название сорта, информацию о его происхождении, а именно, название организации, в которой был создан сорт; место репродукции, дату сбора растительного материала, Ф.И.О. коллектора (ов) и специалиста, определившего сорт, обычно им является автор сорта; регистрационный номер образца в гербарной коллекции с префиксом «WIR-». После этого проводят сканирование гербарного образца с разрешением 600 dpi. При сканировании на гербарный лист помещают стандартную цветовую шкалу X-rite Color Checker Classic. Номенклатурные стандарты сортов регистрируют в электронной базе данных «Гербарий ВИР» и передают на постоянное хранение в фонд номенклатурных типов Гербария культурных растений мира, их диких родичей и сорных растений ВИР (WIR).

**11. Обязательно проводится обнародование номенклатурных стандартов и гербарной коллекции**, в которой они хранятся, в виде научной публикации, которая готовится сотрудниками ВИР в соавторстве с селекционерами, предоставившими растительный материал.

## **В. Комплекс работ, проводимых в отделе биотехнологии ВИР**

Пакет с верхней третью побега текущего года (3.1.1.), полученный от селекционера, передается в отдел биотехнологии ВИР, где производят отбор листьев для выделения ДНК и проведения последующего генотипирования, а также пазушных почек для введения переданного образца в культуру *in vitro*.

**12.** С переданной селекционерами части побега (3.1.1 – верхняя треть однолетнего побега) при помощи стерильного пинцета отделяют один-два верхушечных листа для последующего выделения ДНК. Для этой работы используют молодые листья, поскольку они содержат меньшее количество вторичных метаболитов.

На пластиковые пробирки маркером наносят название сорта и дату. Листья переносят в подписанные пробирки, после чего пробирки закрывают и погружают в термос с жидким азотом. Замороженный растительный материал помещают в морозильную камеру с температурой -80°C. Впоследствии этот материал будет использован для выделения ДНК и последующего генотипирования. Информацию об образце, дате фиксации растительного материала и номере препарата ДНК заносят в лабораторный журнал

(детали протокола смотри в Приложении 3/ Supplement 3).

**13.** С переданной части побега (3.1.1 – верхняя треть однолетнего побега) отделяют пазушные почки, которые используют в качестве эксплантов для введения данного образца сорта в культуру *in vitro*. Введение в культуру проводят в соответствии с протоколом, разработанным в отделе биотехнологии ВИР (Dunaeva et al., 2017). На приживаемость и на дальнейшее развитие почек в культуре *in vitro* влияют срок срезки побега и состояние переданного растительного материала.

Если состояние переданного в ВИР растительного материала не позволяет провести извлечение жизнеспособных эксплантов, то введение в культуру *in vitro* проводят из почек, выделенных из вегетирующего клона, переданного селекционером в ВИР в виде отпрыска с отрезком корневища (4).

Образцу, введенному в культуру *in vitro*, присваивается интродукционный номер с префиксом «и-». Образцы *in vitro* коллекции ВИР сохраняют в контролируемых условиях и используют для среднесрочного хранения при пониженной положительной температуре, для криоконсервации, оздоровления, а также в виде *ex vitro* растений для пополнения полевой коллекции ВИР (Dunaeva et al., 2017).

**14.** После закрепления образца сорта в *in vitro* коллекции ВИР проводится его микроразмножение и включение в программу по криоконсервации с использованием метода капель-витрификации, модифицированного в отделе биотехнологии ВИР (Ukhatova et al., 2017; Dunaeva et al., 2017). Криопробирки с замороженными апексами микро-растений передаются на долгосрочное хранение в криобанк ВИР.

## **Г. Поддержание образцов сортов малины, генетически идентичных номенклатурным стандартам, в полевой коллекции ВИР**

**15.** В полевую коллекцию ВИР образец сорта, генетически идентичный номенклатурному стандарту, передается двумя путями:

- как отпрыск с отрезком корневища, отделенный селекционером от этикетированного куста (см. пункты 4 и 8 протокола);
- как *ex vitro* растение.

### **Протокол сбора растительного материала для оформления номенклатурных стандартов сортов смородины черной, отбора материала для выделения ДНК и для введения образцов сортов в культуру *in vitro***

Большая часть пунктов протокола, разработанного для сортов малины, также может быть использована и для сортов смородины черной, а именно:

**А.1.** «Выбор растительного материала для создания номенклатурного стандарта»; **Б.** «Комплекс работ, проводимых с растительным материалом, поступившим в Гербарий ВИР»; **В.** «Комплекс работ, проводимых в отделе биотехнологии ВИР»; **Г.** «Поддержание образцов, генетически идентичных номенклатурным стандартам, в полевой коллекции ВИР». Свои особенности для сортов смородины черной имеют только три пункта протокола: **А.2**, **А.3** и **Г.15**, что изложено ниже.

### **А.2. Подготовка растительного материала сортов смородины черной к передаче в ВИР.**

Селекционер – автор сорта или специалист по культуре – представитель учреждения, где был выведен сорт, отмечает выбранное растение этикеткой. Передача в Гербарий ВИР растительного материала смородины черной для оформления номенклатурных стандартов осуществляется в два этапа.

Вначале с выбранного селекционером этикетированного куста отбирается побег в фазе цветения, во второй раз – в фазе плодоношения. Перед сбором цветущего побега проводится фотодокументирование морфологических признаков цветка (важно отразить форму и величину гипантия, окраску и направление чашелистиков, степень открытия зева, направление кистей во время цветения). Фотодокументирование растительного материала, собранного во время плодоношения, также должно отражать комплекс морфологических признаков побега (окраска, изогнутость, опушенность), почки (форма, величина, окраска, опушенность, положение на побеге), листа и плода (величина, форма, блеск, величина чашечки, ее опадаемость и сомкнутость). Основное внимание обращается на лист, поскольку у смородины черной морфологические признаки листа являются одними из основных при апробации сорта. При фотодокументировании важно отразить особенности сформированных листьев из средней части побега, не упуская из виду и листья из верхней его части, поскольку они могут иметь свои отличительные особенности. Обращают внимание на величину, количество лопастей листа, степень морщинистости, складчатость, окраску верхней и нижней его сторон, плотность и характер изогнутости листовой пластинки, форму основания листа и форму черешковой выемки, положение листа на побеге. Особое внимание уделяют характеристикам средней лопасти (форма, заостренность и изогнутость верхушки, наличие дополнительных выступов, длина по отношению к боковым лопастям). У боковых лопастей фиксируют форму, величину, заостренность и направление верхушек, положение верхних и нижних сторон, угол, образуемый средними жилками. При наличии базальных лопастей указывают степень их развития и направление средних жилок этих лопастей. Как и в случае малины, подготовленные таким образом фотоматериалы, направляют в Гербарий ВИР в электронном или распечатанном на бумажном носителе виде. Если

фотодокументирование не удалось сделать в месте сбора, его проводят после передачи растительного материала в Гербарий ВИР.

### **А.3. Передача побегов сорта из селекцентра в ВИР**

С этикетированного растения срезают однолетние побеги во время массового цветения сорта и в фазе массового плодоношения.

3.1. Срезанный однолетний цветущий побег вкладывают в отдельный бумажный пакет, на котором указывают название сорта, вид материала и дату отбора.

3.2. Срезанный плодоносящий побег вкладывают в отдельный бумажный пакет, который подписывают, как указано в пункте 3.1.

3.2.1. В отдельный подписанный пакет помещают часть побега, содержащего кисти с плодоношением.

3.2.2. В отдельный подготовленный и подписанный бумажный пакет вкладывают зрелый, сформированный лист из средней части побега.

3.3. Во все подготовленные таким образом пакеты помещают подписанные этикетки, на которых отмечают название сорта, вид материала и дату сбора.

**Г.15.** Селекционер также предоставляет в отдел генетических ресурсов плодовых культур ВИР растительный материал с этикетированного растения в виде укорененных черенков.

Общая схема проводимых в ВИР работ для реализации комплексной стратегии регистрации и сохранения отечественных сортов ягодных культур в генбанке, на примере сортов малины, представлена на рисунке 1.

### **Первые результаты реализации комплексной программы по созданию номенклатурных стандартов российских сортов малины обыкновенной и смородины черной как результат совместной работы сотрудников ВИР и селекционеров**

В этом разделе обобщены первые результаты совместных работ сотрудников ВИР с селекционерами Сибирского, Уральского, Северо-Западного и Центрального округов, направленных на создание номенклатурных стандартов российских сортов малины и смородины черной. Всего в Гербарий ВИР за 2019 – 2022 годы из селекционных центров поступил растительный материал 24 сортов малины и 19 сортов смородины черной для оформления номенклатурных стандартов и сохранения их в живом виде в контролируемых условиях в генбанке ВИР (табл. 1, 2). Оформление номенклатурных стандартов проводится в отделе Агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений ВИР.

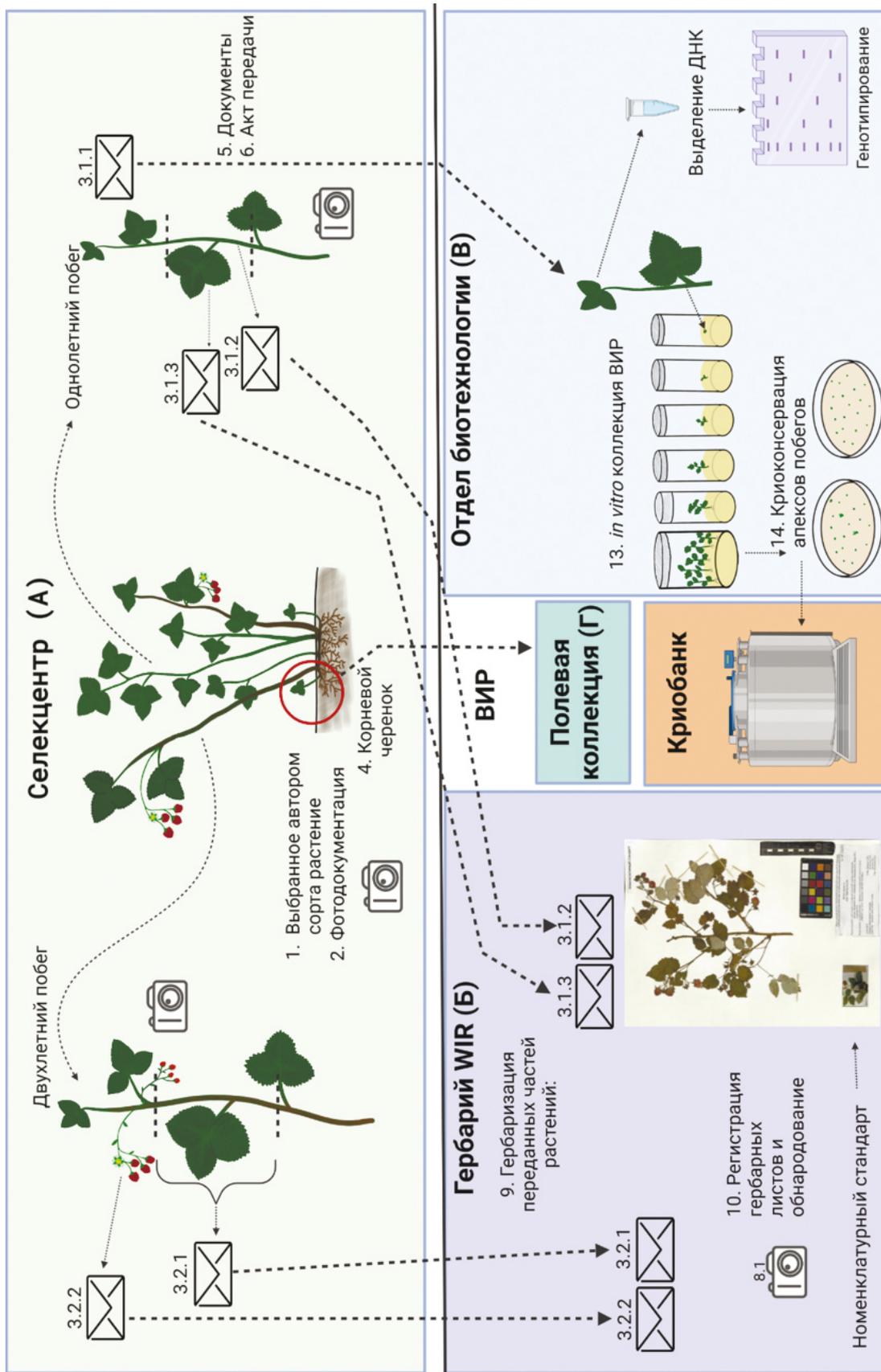


Рис. 1. Схема работ по реализации комплексной стратегии регистрации и сохранения в генобанке ВИР российских сортов малины обыкновенной.

Fig. 1. Implementation workflow of a complex strategy for registration and conservation of Russian red raspberry cultivars in the VIR genebank

**Сорта малины селекции «НИИСС им. М.А. Лисавенко», ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агротехнологий».** В июле 2019 года был получен растительный материал сортов и селекционных клонов малины из НИИСС им. М.А. Лисавенко (отдел «НИИСС им. М.А. Лисавенко» ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агротехнологий»). Материал был отобран в коллекционном саду данного учреждения селекционером Н.Д. Яговцевой, совместно с сотрудниками ВИР И.Г. Чухиной и А.М. Камневым и доставлен в Гербарий ВИР. После верификации морфологических признаков семи сортов, зарегистрированных в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию» (далее – Госреестр, State Register, 2021), для них были оформлены номенклатурные стандарты (см. табл. 1), обнародованные в нашей публикации (Kamnev et al., 2021).

Гербарный образец сорта ‘Кассиопея’ был зарегистрирован в Гербарии ВИР как ваучерный образец (см. табл. 1), поскольку в данное время этот сорт проходит госсортоиспытания (далее – ГСИ).

**Сорта малины селекции «Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции — филиал ИЦиГ СО РАН».** Растительный материал четырех сортов малины новосибирской селекции, лично отобранный селекционером А.А. Кузьминой, был передан в ВИР в августе 2020 года. При верификации морфологических признаков переданного растительного материала в сравнении с указанными для этих сортов в «Помологии» (Sedov, 2014) не выявлено каких-либо несовпадений.

Номенклатурные стандарты трех сортов малины (‘Арочная’, ‘Персиковая’, ‘Прелесть’) были зарегистрированы в Гербарии ВИР (см. табл. 1), подготовлена и сдача в печать рукопись статьи (Kamnev et al., 2022).

**Сорта малины селекции Свердловской селекционной станции садоводства ФГБНУ «УрФАНИЦ УРО РАН».** Растительный материал 10 сортов малины селек-

ции Свердловской селекционной станции садоводства был отобран селекционером Е.Ю. Невоструевой и передан в ВИР в два этапа – 8 сортов в 2020 году (см. табл. 1) и два сорта (‘Бархатная’ и ‘Ванда’) в 2022 году. Все 10 сортов зарегистрированы в Госреестре. Морфологические признаки переданного растительного материала полностью совпали с указанными в Описаниях селекционных достижений и в «Помологии» (Sedov, 2014). Гербарные листы этих 10 сортов были оформлены и зарегистрированы в Гербарии ВИР как номенклатурные стандарты (Kamnev et al., 2022) (см. табл. 1).

**Сорта малины селекции Федерального научно-го центра им. И.В. Мичурина.** Растительный материал трех сортов малины был получен от соавтора этих сортов Т.В. Жидехиной (см. табл. 1; ФНЦ им. И.В. Мичурина\*) в 2021 году. В настоящее время гербарные образцы проходят подготовку к регистрации в Гербарии ВИР.

**Сорта смородины черной, выведенные в ВИР.** Растительный материал пяти сортов смородины черной, выведенных в ВИР, был отобран в 2020 году их соавтором и куратором данной культуры к.б.н. О.А. Тихоновой в полевой коллекции НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, г. Павловск) для оформления номенклатурных стандартов в соответствии с разработанным нами протоколом. Собранный с этикетированных кустов растительный материал был заложен в Гербарии ВИР, номенклатурные стандарты были обнародованы в публикации (Tikhonova et al., 2021) (табл. 2).

**Сорта смородины черной, выведенные в «ФНЦ им. И.В. Мичурина».** В 2022 году из ФНЦ им. И.В. Мичурина в Гербарии ВИР был передан растительный материал 14 сортов смородины черной от селекционера, соавтора половины этих сортов, Т.В. Жидехиной (см. табл. 2). В настоящее время гербарные образцы этих сортов проходят подготовку к регистрации в Гербарии ВИР.

**Таблица 1. Номенклатурные стандарты сортов малины обыкновенной, сохраняемые в Гербарии ВИР в 2019-2022 годах и образцы этих сортов, введенные в *in vitro* и крио коллекции ВИР**  
**Table 1. Nomenclatural standards of red raspberry cultivars preserved in the VIR Herbarium and corresponding accessions of these cultivars introduced into the *in vitro* and cryo collections of VIR**

<p>Аббревиатура организации, где был выведен сорт (селекционер, от которого получен растительный материал) */</p> <p>Abbreviation of the institution's name where cultivar was bred (name of the breeder, who provided the plant material)*</p>	<p>Число (N) и названия сортов, для которых были созданы номенклатурные стандарты (ссылки на публикацию)/</p> <p>Number (N) and names of cultivars and their nomenclatural standards (references)</p>	<p>Код сорта в Госреестре/</p> <p>Cultivar code in the State Register</p>	<p>Клоны сортов, генетически идентичные номенклатурным стандартам, введенным в <i>in vitro</i>/крио коллекции/</p> <p>Cultivar clones genetically identical to nomenclature standards, introduced into <i>in vitro</i>/cryo collection</p>
<p>ФГБНУ ФАНЦА (Н.Д. Яговцева) N = 8</p>	<p>Номенклатурные стандарты, N=7 (Kamnev et al., 2021)</p>		
	<p>‘Барнаульская’ (WIR-54071) **</p>	<p>6402046</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Блеск’ (WIR-54072)</p>	<p>9553807</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Добрая’ (WIR-54074)</p>	<p>9553806</p>	<p>и-638075***/-</p>
	<p>‘Зоренька Алтая’ (WIR-54077)</p>	<p>8008434</p>	<p>и-638076/-</p>
	<p>‘Иллюзия’ (WIR-54078)</p>	<p>8802572</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Кредо’ (WIR-54081)</p>	<p>8905762</p>	<p>и-638077/-</p>
	<p>‘Рубиновая’ (WIR-54082)</p>	<p>8205973</p>	<p>и-633941/и-633941</p>
	<p>Ваучерные образцы, N=1</p>		
<p>СибНИИРС — филиал ИЦиГ СО РАН (А.А. Кузьмина) N = 3</p>	<p>Номенклатурные стандарты, N=3 (Kamnev et al., 2022)</p>		
	<p>‘Арочная’ (WIR-59895)</p>	<p>9908012</p>	<p>и-633935/и-633935</p>
	<p>‘Персиковая’ (WIR-60030)</p>	<p>Патент № 4814</p>	<p>и-633936/-</p>
	<p>‘Прелесть’ (WIR-60108)</p>	<p>9900535</p>	<p>и-633937/и-633937</p>
			<p>Итого: 3/2</p>
<p>Свердловская ССС ФГБНУ «УрФАНИЦ УРО РАН» (Е.Ю. Невоструева) N = 10</p>	<p>Номенклатурные стандарты, N=10 (Kamnev et al., in press 2022)</p>		
	<p>‘Алая россыпь’ (WIR-61606)</p>	<p>9253852</p>	<p>и-635696/-</p>
	<p>‘Антарес’ (WIR-61944)</p>	<p>9053058</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Бархатная’ (WIR-63869)</p>	<p>9253850</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Ванда’ (WIR-63923)</p>	<p>8852859</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Высокая’ (WIR-63953)</p>	<p>6802770</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Лель’ (WIR-63975)</p>	<p>9253851</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Любительская Свердловска’ (WIR-64004)</p>	<p>9402683</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Муза’ (WIR-64222)</p>	<p>9907644</p>	<p>и-635701/-</p>
	<p>‘Ровница’ (WIR-64245)</p>	<p>9252118</p>	<p>и-635702/-</p>
<p>‘Фрегат’ (WIR-64399)</p>	<p>8852858</p>	<p>-/-</p>	
<p>ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (Т.В. Жидехина) N = 3</p>	<p>образцы проходят подготовку к регистрации в Гербарии ВИР, N = 3</p>		
	<p>‘Клеопатра’ -</p>	<p>9359086</p>	<p>-/-</p>
	<p>‘Суламифь’ -</p>	<p>9359084</p>	<p>и-638079/-</p>
	<p>‘Шахзада’ -</p>	<p>9359085</p>	<p>и-638080/-</p>
	<p>Номенклатурные стандарты планируется обнародовать в 2023 году</p>		<p>Итого: 2/0</p>

<p>Аббревиатура организации, где был выведен сорт (селекционер, от которого получен растительный материал) */</p> <p>Abbreviation of the institution's name where cultivar was bred (name of the breeder, who provided the plant material)*</p>	<p>Число (N) и названия сортов, для которых были созданы номенклатурные стандарты (ссылки на публикацию)/</p> <p>Number (N) and names of cultivars and their nomenclatural standards (references)</p>	<p>Код сорта в Госреестре/</p> <p>Cultivar code in the State Register</p>	<p>Клоны сортов, генетически идентичные номенклатурным стандартам, введенным в <i>in vitro</i>/крио коллекции/</p> <p>Cultivar clones genetically identical to nomenclature standards, introduced into <i>in vitro</i>/cryo collection</p>
<p><b>Итого:</b></p>	<p><b>N = 24</b> Номенклатурные стандарты: <b>20</b>, подготовлены к регистрации – 3, ваучерных образцов – 1</p>		<p>Число образцов в коллекциях ВИР: в <i>in vitro</i> – <b>13</b> в крио – <b>4</b></p>

**Примечания:**

\*В таблице указана аббревиатура названий институтов, актуальная на момент передачи растительного материала в Гербарий ВИР: ФГБНУ ФАНЦА – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»;

СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН – Сибирский НИИ растениеводства и селекции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук»;

Свердловская ССС ФГБНУ «УрФАНИЦ УРО РАН» – Свердловская селекционная станция садоводства, структурное подразделение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»;

ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина».

\*\* – здесь и далее «WIR-» – номер регистрации в Гербарии ВИР;

\*\*\* – здесь и далее «и-» – интродукционный номер ВИР.

**Таблица 2. Номенклатурные стандарты сортов смородины черной, сохраняемые в Гербарии ВИР, и образцы этих сортов, введенные в *in vitro* коллекции ВИР**

**Table 2. Nomenclatural standards of black currant cultivars preserved in the VIR Herbarium and corresponding accessions introduced into the VIR *in vitro* collection**

<p>Аббревиатура организации, где были выведены сорта (селекционер, от которого получен растительный материал)*/</p> <p>Abbreviation of the institution's name where cultivars were bred* (breeder who provided the plant material)</p>	<p>Число (N) и названия сортов, для которых были созданы номенклатурные стандарты (ссылки на публикацию)/</p> <p>Number (N) and names of the cultivars and their nomenclatural standards (references)</p>	<p>Код сорта в Госреестре/</p> <p>Cultivar Code in the State Register</p>	<p>Клоны сортов, генетически идентичные номенклатурным стандартам, введенным в: <i>in vitro</i> коллекцию/</p> <p>Cultivar clones genetically identical to nomenclature standards, entered into <i>in vitro</i> collection</p>
<p>ВИР (О.А. Тихонова)</p>	<p>Номенклатурные стандарты, N = 5</p>		
	<p>‘Бинар’ (WIR-54065)**</p>	<p>8702934</p>	<p>к-32649***</p>
	<p>‘Велой’ (WIR-54064)</p>	<p>8505764</p>	<p>к-32647</p>
	<p>‘Петербурженка’ (WIR-54062)</p>	<p>9500650</p>	<p>–</p>
	<p>‘Поэзия’ (WIR-54068)</p>	<p>8905800</p>	<p>к-35652</p>
	<p>’Трилена’ (WIR-54067)</p>	<p>9106634</p>	<p>к-34001</p>
	<p>(Tikhonova et al., 2021)</p>		<p>Итого: 4</p>

<p>Аббревиатура организации, где были выведены сорта (селекционер, от которого получен растительный материал)*/ Abbreviation of the institution's name where cultivars were bred* (breeder who provided the plant material)</p>	<p>Число (N) и названия сортов, для которых были созданы номенклатурные стандарты (ссылки на публикацию)/ Number (N) and names of the cultivars and their nomenclatural standards (references)</p>	<p>Код сорта в Госреестре/ Cultivar Code in the State Register</p>	<p>Клоны сортов, генетически идентичные номенклатурным стандартам, введенным в: <i>in vitro</i> коллекцию/ Cultivar clones genetically identical to nomenclature standards, entered into <i>in vitro</i> collection</p>	
ФНЦ им. И.В. Мичурина (Т.В. Жидехина)	образцы готовятся к регистрации в Гербарии ВИР, N = 14			
	‘Амирани’	-	8456517	
	‘Багира’	-	8607087	
	‘Воспоминание’	-	9604669	
	‘Зелёная дымка’	-	8607095	
	‘Маленький принц’	-	9811446	
	‘Память Мичурина’	-	4804058	
	‘Созвездие’	-	8607109	
	‘Тамерлан’	-	9811447	
	‘Татьянин день’	-	9604685	
	‘Чаровница’	-	9904727	
	‘Чернавка’	-	9553210	
	‘Чёрный жемчуг’	-	8508372	
	‘Шалунья’	-	9553255	
‘Элвеста’	-	9904735		
<b>Итого:</b>	<b>N = 19</b>		<b>4</b>	

**Примечания:**

\*В таблице указана аббревиатура названий институтов, актуальная на момент передачи растительного материала в Гербарий ВИР: ВИР – Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР); ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина".

\*\* здесь и далее “WIR-” — номер регистрации в Гербарии ВИР.

\*\*\* здесь и далее “к-” — номер каталога ВИР.

**Сохранение в живом виде в коллекциях ВИР образцов сортов малины обыкновенной и смородины черной, генетически идентичных номенклатурным стандартам**

В этом разделе обобщены первые результаты совместных работ сотрудников ВИР с селекционерами, направленные на сохранение в живом виде в коллекциях ВИР (*in vitro*, крио, полевой) образцов российских сортов малины и смородины черной, оформленных как номенклатурные стандарты.

**Сохранение образцов малины в *in vitro* и крио коллекциях ВИР.** Наряду с материалом, который закладывался в Гербарий ВИР, селекционеры, в соответствии с разработанным нами протоколом для малины, передавали в ВИР верхнюю треть побега первого года (туриона, А.1) для введения почек в культуру *in vitro*. В этом

варианте в культуру *in vitro* были введены образцы двух сортов малины, ‘Рубиновая’ и ‘Кассиопея’, алтайской селекции. Следует учитывать, что при передаче растительного материала из отдаленных селекционных центров, введение в культуру *in vitro* не всегда эффективно. Поэтому еще 11 образцов сортов малины были введены в культуру *in vitro* в 2022 году из вегетирующих растений, выросших из материала (отпрыски с частью корневищ), переданного селекционерами в ВИР в 2020-2021 годах. Итого, из растительного материала, переданного селекционерами в ВИР для оформления номенклатурных стандартов, в коллекцию *in vitro* ВИР были введены образцы 12-ти сортов малины. Один образец, ‘Кассиопея’, был введен в коллекцию из растительного материала, оформленного как гербарный ваучер (см. табл. 1). После введения в культуру *in vitro*, образцам присваивали интродукционные номера ВИР «и-».

Криогенное хранение рассматривают в качестве стра-

тегии долгосрочного депонирования образцов вегетативно размножаемых культур в криобанках. В нашей работе после закрепления в *in vitro* коллекции, образцы сортов, генетически идентичные номенклатурным стандартам, включают в программу по криоконсервации. С этой целью вначале проводят несколько циклов микроразмножения пробирочного материала для получения необходимого числа закладываемых в криобанк почек. Для криоконсервации используют минимум 90 верхушечных почек на образец сорта согласно модифицированному методу дроплет-витрификации (Dunaeva et al., 2017; Ukhatoва et al., 2017). В настоящее время в криобанке ВИР хранятся апексы микропобегов четырех сортов: 'Арочная', 'Прелесть', 'Рубиновая', 'Кассиопея' (см. табл. 1). Эти образцы заложены в криобанк ВИР с уровнем пост-криогенной регенерации в контрольных экспериментах от 35 до 51 %.

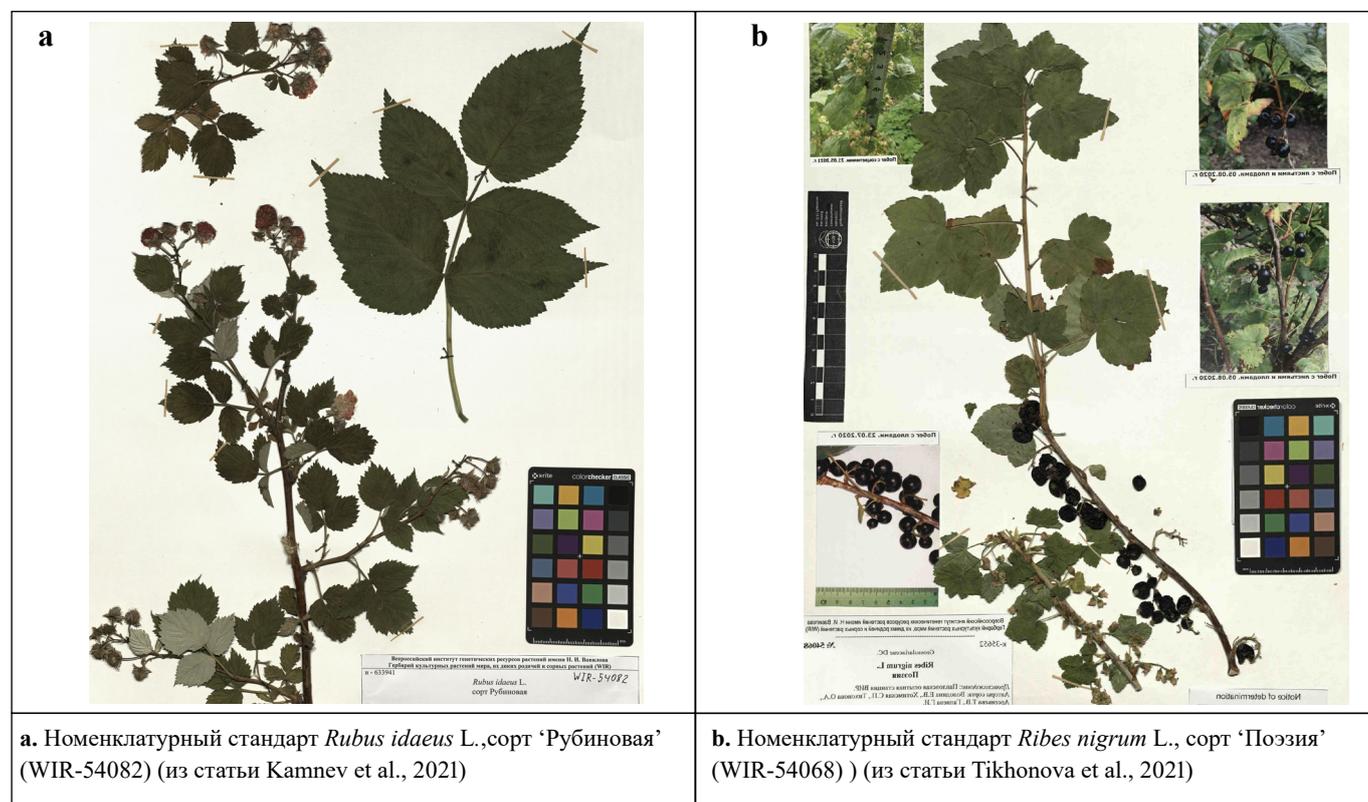
**Сохранение образцов смородины черной в *in vitro* коллекции ВИР.** Из пяти образцов сортов смородины черной, выведенных в ВИР, в культуру *in vitro* были введены четыре сорта (см. табл. 2).

**Сохранение в полевой коллекции ВИР образцов сортов малины обыкновенной и смородины чёрной, генетически идентичных номенклатурным стандартам.** В 2020-2022 годах селекционеры передали в ВИР отпрыски с отрезком корневища 23 образца сортов малины, генетически идентичных номенклатурным стандартам. В соответствии с протоколом (пункт 4), отпрыски

были отделены от этикетированных кустов, с которых ранее был взят растительный материал для гербаризации и введения в культуру *in vitro*. Полученный материал был высажен на экспериментальном поле НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, г. Пушкин) и впоследствии использовался для получения эксплантов и введения в культуру *in vitro* 11 сортов, генетически идентичных номенклатурным стандартам (см. табл. 1). Клоны остальных сортов будут введены в культуру *in vitro* по мере развития растений, высаженных на экспериментальном поле НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, г. Пушкин). Впоследствии клоны этих сортов будут переданы в полевую коллекцию ВИР в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, г. Павловск).

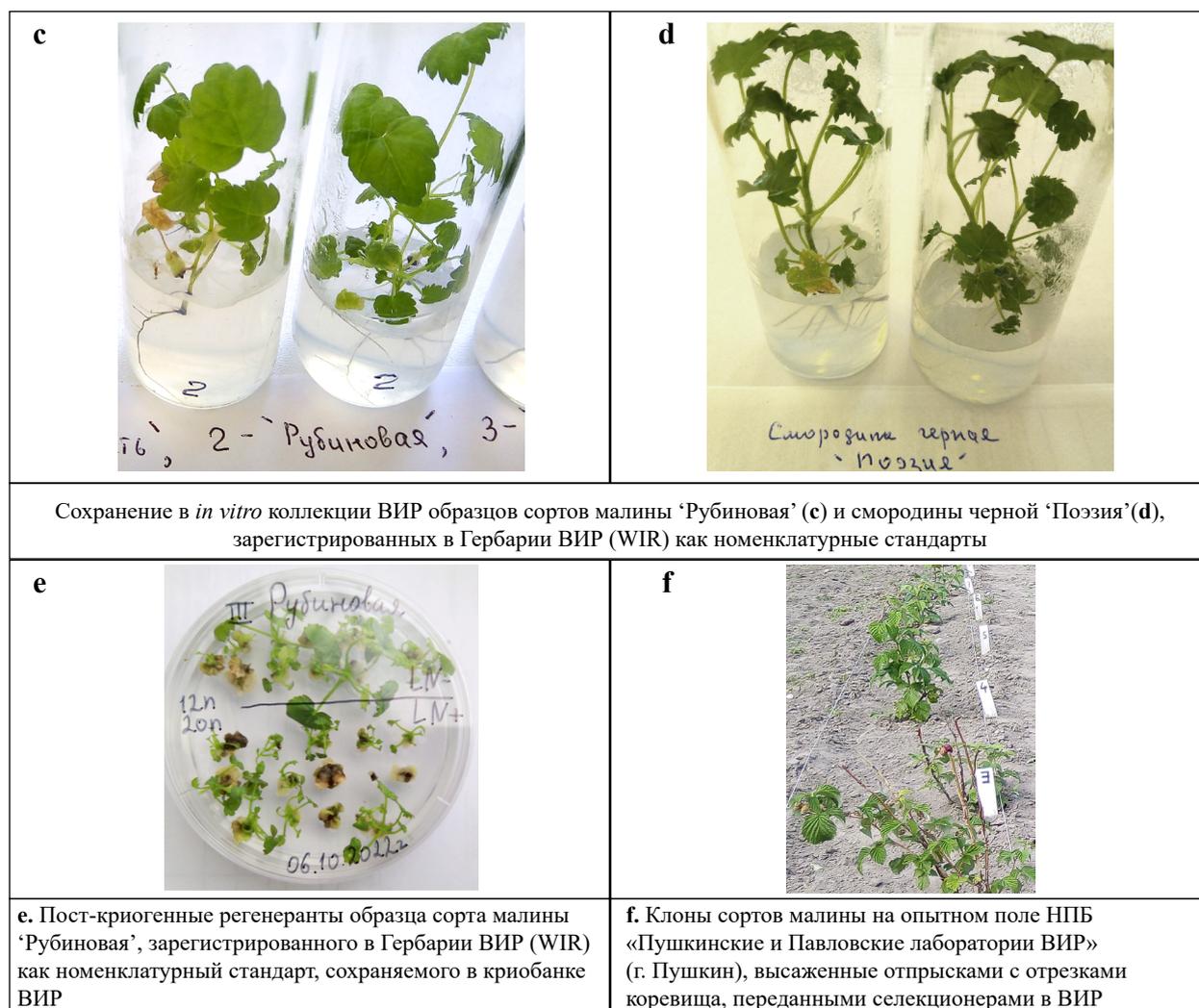
Укорененные черенки (Г.15) 14 сортов смородины черной, переданные в ВИР в 2022 году из ФНЦ им. В.И. Мичурина, были высажены в полевую коллекцию ВИР в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». В соответствии с разработанным нами протоколом, черенки были нарезаны селекционером от этикетированных кустов сортов, от которых был взят материал для гербаризации. Сорта смородины черной, выведенные в ВИР, которые были оформлены и обнародованы как номенклатурные стандарты, сохраняются в полевой коллекции ВИР в НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР».

Согласно разработанной нами комплексной стратегии, в лаборатории молекулярного скрининга и ДНК паспор-



**а.** Номенклатурный стандарт *Rubus idaeus* L., сорт 'Рубиновая' (WIR-54082) (из статьи Kamnev et al., 2021)

**б.** Номенклатурный стандарт *Ribes nigrum* L., сорт 'Поэзия' (WIR-54068) (из статьи Tikhonova et al., 2021)



**Рис. 2. Примеры реализации комплексной стратегии регистрации и сохранения в живом виде в коллекции ВИР образцов сортов малины обыкновенной, на примере сорта 'Рубиновая', и смородины черной, на примере сорта 'Поэзия'.**

**Fig. 2. Examples of implementation of a complex strategy for registration and preservation of live specimens of red raspberry cultivar, e.g., 'Ruby', and blackcurrant, e.g., 'Poeziya', in the VIR collection**

тизации отдела биотехнологии ВИР начаты работы по генотипированию этих образцов сортов малины обыкновенной и смородины черной с использованием препаратов ДНК, выделенных из листьев побегов, переданных селекционерами в Гербарий ВИР. В настоящее время номенклатурные стандарты рассматривают в ВИР как защищенные носители подлинности генетической информации селекционных достижений (Khlestkina, 2022). В перспективе будет создаваться интегрированный банк ДНК, включающий препараты ДНК, выделенные из образцов гербарной, *in vitro* и крио коллекций отечественных сортов ягодных культур.

На рисунке 2 представлены примеры реализации комплексной стратегии регистрации и сохранения в живом виде в коллекциях ВИР образцов сортов малины обыкновенной и смородины черной, включающие создание

номенклатурных стандартов, сохранение этих образцов в живом виде, в контролируемых условиях *in vitro* и крио коллекций, а также в виде вегетирующих растений в полевой коллекции.

В различных регионах России активно развиваются селекционные программы по созданию новых сортов ягодных культур различного назначения (Sedov, 2016; Yevdokimenko, Podgaetsky, 2019). Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) совместно с российскими селекционерами формируют фонд номенклатурных стандартов отечественных сортов различных ягодных культур (Tikhonova et al., 2021; Kamnev et al., 2021; Bagmet et al., 2021; 2022; Kamnev et al., 1922; Khlestkina et al., 2022), а также проводят комплексные работы по сохранению в генбанке в контролируемых *in vitro* и крио условиях идентифицированного

генофонда отечественных сортов (Gavrilenko, Chukhina et al., 2020). Развитие этих направлений возможно только при активном сотрудничестве сотрудников ВИР и селекционных центров страны.

### Заключение

В настоящей статье представлены протоколы для реализации комплексной стратегии регистрации и сохранения в генбанке ВИР отечественных сортов ягодных культур на примере малины обыкновенной и смородины черной и обобщены первые результаты их применения.

Итогом трехлетних совместных работ сотрудников ВИР и селекционеров из четырех селекционных центров, расположенных в пяти округах страны, является: создание номенклатурных стандартов 20 сортов малины обыкновенной: семи сортов селекции ФГБНУ ФАНЦА (Kamnev et al., 2021), 10 сортов малины селекции Свердловской ССС и трех сортов малины селекции Новосибирской зональной станции садоводства (Kamnev et al., 2022), а также пяти сортов смородины черной, выведенных в ВИР (Tikhonova et al., 2021).

В культуру *in vitro* введены 13 образцов сортов малины и четыре сорта смородины черной, генетически идентичных номенклатурным стандартам. Четыре сорта малины заложены в криобанк ВИР на долгосрочное хранение.

### References/Литература

- Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Rybakov D.A., Fomina N.A., Zheltova V.V., Novikova L.Yu., Gavrilenko T.A. SSR analysis of modern Russian potato varieties using DNA samples of nomenclatural standards. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(4):77-96. [in Russian] (Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Рыбаков Д.А., Фомина Н.А., Желтова В.В., Новикова Л.Ю., Гавриленко Т.А. SSR-анализ современных Российских сортов картофеля с использованием ДНК номенклатурных стандартов. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(4):77-96). DOI:10.30901/2658-6266-2020-4-02
- Bagmet L.V., Chebotok E.M., Shlyavas A.V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):873-886. [In Russian] (Багмет Л.В., Чеботок Е.М., Шлявас А.В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть I. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(6):873-886). DOI:10.30766/2072-9081.2021.22.6.873-886
- Bagmet L.V., Chebotok E.M., Shlyavas A.V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred by Sverdlovsk Horticultural Breeding Station. Part I. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(1):69-80. [In Russian] (Багмет Л.В., Чеботок Е.М., Шлявас А.В. Номенклатурные стандарты сортов чёрной смородины селекции Свердловской селекционной станции садоводства. Часть I. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(1):69-80). DOI:10.30766/2072-9081.2022.23.1.69-80
- Belozor N.I. Herbarization of cultivated plants (Guidelines) (Gerbarizatsiya kulturnykh rastenii: (Metodicheskie ukazaniya). Leningrad: VIR; 1989. [in Russian] (Белозор Н.И. Гербаризация культурных растений: (методические указания). Ленинград: ВИР; 1989).
- Brickell C.D., Alexander C., Cubey J.J., David J.C., Hoffman M.H.A., Leslie A.C., Malécot V., Xiaobai J. (eds). International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1-XVII+1-190.
- Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of modern Russian potato cultivars preserved at the VIR herbarium (VIR): A new approach to cultivar gene pool registration in a genebank. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):6-17. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты современных российских сортов картофеля, хранящиеся в гербарии ВИР (VIR): новые подходы к регистрации сортового генофонда в генбанках. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):6-17). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-3-02
- Dunaeva S.E., Pendinen G.I., Antonova O.Y., Shvachko N.A., Ukhatova 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.). 2<sup>nd</sup> 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 ред. Т.А. Гавриленко. 2-е изд. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Division III–VI, Appendix I–IX. Chukhina I.G., Miftakhova S.R., Dorofeyev V.I. (transl.). Translation of: “International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1-XVII+1-190”. *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70. [In Russian] (Международный кодекс номенклатуры культурных растений. Часть III–VI, Приложение I–IX / перевод с английского Чухина И.Г., Мифтахова С.Р., Дорофеев В.И. Перевод издания: «International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ed. 9. Scripta Horticulturae. 2016;18:1-XVII+1-190». *Vavilovia*. 2022;5(1):41-70). DOI: 10.30901/2658-3860-2022-1-41-70
- Kamnev A.M., Yagovtseva N.D., Dunaeva S.E., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of raspberry cultivars bred in the Altai. *Vavilovia*. 2021;4(2):26-43. [in Russian] (Камнев А.М., Яговцева Н.Д., Дунаева С.Е., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты сортов малины Алтайской селекции. *Vavilovia*. 2021;4(2):26-43). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-2-26-43
- Kamnev A.M., Dunaeva S.E., Nevostruieva E.Yu., Kuzmina A.A., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G. Nomenclatural standards of raspberry varieties bred by the Sverdlovsk breeding station of gardening and Novosibirsk Zonal Gardening Station. *Vavilovia*. [in press] 2022. [in Russian] (Камнев А.М., Дунаева С.Е., Невоструева Е.Ю., Кузьмина А.А., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г. Номенклатурные стандарты сортов малины селекции Свердловской селекционной станции садоводства и Новосибирской зональной станции садоводства. *Vavilovia*. [в печати] 2022).
- Khlestkina E.K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(1):9-30. [in Russian] (Хлесткина Е.К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):9-30). DOI:10.30901/2227-8834-2022-1-9-30
- Klimenko N.S., Gavrilenko T.A., Chukhina I.G., Gadzhiev N.M., Evdokimova Z.Z., Lebedeva V.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture “Belogorka”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(3):18-54. [in Russian] (Клименко Н.С., Гавриленко Т.А., Чухина И.Г., Гаджиев Н.М., Евдокимова З.З., Лебедева В.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Ленинградского НИИСХ «Белогорка». *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(3):18-54). DOI:10.30901/2658-6266-2020-3-03
- Rybakov D.A., Antonova O.Yu., Chukhina I.G., Fomina N.A., Klimenko N.S., Zheltova V.V., Meleshin A.A., Kochieva E.Z., Oves E.V., Apshev Kh.Kh., Simakov E.A., Gavrilenko T.A. Nomenclatural standards and genetic passports of potato cultivars bred in the A.G. Lorkh All-Russian Potato Research Institute of Potato Farming. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(4):5-52. [in Russian] (Рыбаков Д.А., Антонова О.Ю., Чухина И.Г., Фомина Н.А., Клименко Н.С., Желтова В.В., Мелешин А.А.,

- Кочиева Е.З., Овэс Е.В., Апшев Х.Х., Симаков Е.А., Гавриленко Т.А. Номенклатурные стандарты и генетические паспорта сортов картофеля селекции Всероссийского научно-исследовательского института картофеля им. А.Г. Лорха. *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(4):5-52. DOI: 10.30901/2658-6266-2020-4-01
- Sedov E.N. (ed.). Pomology. V. 5: Strawberry, raspberry, nut and rare crops. Orel: VNIISPB Publisher; 2014. [in Russian] (Помология. Т. 5: Земляника, малина, орехоплодные и редкие культуры / под ред. Е.Н. Седова. Орел: ВНИИСПК; 2014).
- Sedov E.N. Integrated research programs for selection fruit and berry crops and their effectiveness. Breeding and cultivar cultivation of horticultural crops = Seleksiia i sortorazvedenie sadovykh kultur. 2016;3(1):126-129. [in Russian] (Седов Е.Н. Комплексные программы исследований по селекции плодовых и ягодных культур и их эффективность. *Селекция и сорторазведение садовых культур*. 2016;3(1):126-129).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 "Plant varieties" (official publication) / Ministry of Agriculture of Russia; 2021. [In Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1 «Сорта растений» (официальное издание) / Министерство сельского хозяйства России. Москва: ФГБНУ «Госсорткомиссия», 2021).
- Tikhonova O.A., Shabliuk N.O., Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Talovina G.V. Nomenclatural standards of black currant cultivars bred at VIR. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25. [in Russian] (Тихонова О.А., Шаблюк Н.О., Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Таловина Г.В. Номенклатурные стандарты сортов черной смородины селекции ВИР. *Vavilovia*. 2021;4(2):3-25). DOI: 10.30901/2658-3860-2021-2-3-25
- Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., Marhold K., May T.W., McNeill J., Monro A.M., Prado J., Price M.J., Smith G.F. (eds.). International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code). Adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. *Regnum Vegetabile* 159. Glashütten: Koeltz Botanical Books; 2018. DOI: 10.12705/Code.2018
- 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 and Developmental Biology – Plant*. 2017;53:394-401. DOI:10.1007/s11627-017-9860-3
- Yevdokimenko S.N., Podgaetsky M.A. State of raspberry assortment in Russia and problems of its improvement. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2019;59:294-300. [in Russian] (Евдокименко С.Н., Подгаецкий М.А. Состояние сортамента малины в России и проблемы его улучшения. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2019;59:294-300). DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-294-300

### Информация об авторах

- Татьяна Андреевна Гавриленко**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая отделом биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [tatjana9972@yandex.ru](mailto:tatjana9972@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>
- Светлана Ефимовна Дунаева**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [dunaevase@mail.ru](mailto:dunaevase@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7002-8066>
- Ольга Анатольевна Тихонова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, отдел генетических ресурсов плодовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [o.tikhonova@vir.nw.ru](mailto:o.tikhonova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>
- Ирена Георгиевна Чухина**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [i.chukhina@vir.nw.ru](mailto:i.chukhina@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

### Information about the authors

- Tatjana A. Gavrilenko**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head, Biotechnology Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [tatjana9972@yandex.ru](mailto:tatjana9972@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>
- Svetlana E. Dunaeva**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Biotechnology Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [dunaevase@mail.ru](mailto:dunaevase@mail.ru), [orcid: https://orcid.org/0000-0001-7002-8066](https://orcid.org/0000-0001-7002-8066)
- Olga A. Tikhonova**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Fruit Crops Genetic Resources Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [o.tikhonova@vir.nw.ru](mailto:o.tikhonova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0319-1477>
- Irena G. Chukhina**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [i.chukhina@vir.nw.ru](mailto:i.chukhina@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

**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 30.11.2022; одобрена после рецензирования 14.12.2022; принята к публикации 28.12.2022.

The article was submitted on 30.11.2022; approved after reviewing on 14.12.2022; accepted for publication on 28.12.2022.

Обзорная статья  
УДК 634.8:581.1  
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-01



## Регенерация винограда в культуре *in vitro*

Т. В. Коваленко<sup>1</sup>, Н. Г. Тихонова<sup>1,2</sup>, Е. К. Хлесткина<sup>1,2</sup>, Ю. В. Ухатова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Научно-технологический университет «Сириус», Сочи, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Коваленко Татьяна Владимировна kovalenko.tv@talantiuspeh.ru

Учитывая мировой и российский опыт сохранения образцов винограда, одним из наиболее надежных способов является создание дублетной *in vitro* коллекции. Однако, в связи с созданием дублетных коллекций винограда и развитием методик геномного редактирования, существует необходимость подбора оптимального состава среды, позволяющего получать при введении растений винограда в культуру *in vitro* максимальный коэффициент каллусообразования и регенерации. Это позволит получить необходимое количество материала для дальнейшего редактирования и последующей регенерации растений с нокаутом целевых генов с целью улучшения хозяйственно ценных признаков. Для винограда это прежде всего повышение устойчивости к возбудителю мучнистой росы *Uncinula necator* Burill. Изучено влияние на морфогенез многих сельскохозяйственных культур активных веществ биологического и синтетического происхождения, в том числе и для растений-регенерантов рода *Vitis* L. Однако, род *Vitis* очень разнообразен и неоднороден по своей генетической и физиолого-морфологической структуре, вследствие чего рекомендуемые среды и компоненты для выращивания в условиях *in vitro* могут подходить не каждому сорту. Местные российские сорта винограда лучше подходят к локальным условиям выращивания, поэтому следует сосредоточить усилия на отработке методик, связанных с сохранением местных сортов в условиях коллекций *in vitro*. Знание природы генов, контролирующих определенные признаки, как и наличие образцов винограда, геном которых секвенирован, способствуют успешному проведению *in silico* анализа для создания редактирующих конструкций.

**Ключевые слова:** регенерация, *in vitro*, ампелографическая коллекция, *Vitis* L.

**Для цитирования:** Коваленко Т.В., Тихонова Н.Г., Хлесткина Е.К., Ухатова Ю.В. Регенерация винограда в культуре *in vitro*. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):39-54. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-01

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.

© Коваленко Т.В., Тихонова Н.Г., Хлесткина Е.К., Ухатова Ю.В., 2022

## Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-01

## *In vitro* regeneration of grape

Tatiana V. Kovalenko<sup>1</sup>, Nadezhda G. Tikhonova<sup>1,2</sup>, Elena K. Khlestkina<sup>1,2</sup>, Yulia V. Ukhatova<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Sirius University of Science and Technology, Sochi, Russia<sup>2</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Kovalenko Tatiana Vladimirovna: kovalenko.tv@talantiuspeh.ru

Considering the global and Russian experience in grape accessions preservation, one of the most reliable ways is the creation of a duplicate *in vitro* collection. However, in connection with the creation of duplicate grape collections and development of genome editing techniques, there is a need for selecting the most optimal medium composition that will ensure the maximum rate of callus formation and regeneration during the introduction of grape plants into *in vitro* culture. This will make it possible to obtain the necessary amount of material for further editing and subsequent regeneration of plants with knockout of target genes to improve economically valuable traits. For grapes, this is primarily an increase in resistance to powdery mildew caused by *Uncinula necator* Burill. The effect of active substances of biological and synthetic origin on the morphogenesis has been studied for many crops, including regenerant plants of the genus *Vitis* L. However, the genus *Vitis* is very diverse and heterogeneous in its genetic, physiological and morphological structure, as a result of which the recommended media and components for cultivation under *in vitro* conditions may not suit every cultivar. Local Russian grape cultivars are better suited to local growing conditions, so efforts should be focused on the development of techniques related to the preservation of local varieties in collections *in vitro*. Knowledge of genes controlling certain traits, as well as the availability of grape accessions whose genome has been sequenced, contribute to successful *in silico* analysis for creating editing constructs.

**Key words:** regeneration, *in vitro*, ampelographic collection, *Vitis* L.

**For citation:** Kovalenko T.V., Tikhonova N.G., Khlestkina E.K., Ukhatova Yu.V. *In vitro* regeneration of grape. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):39-54. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-01

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 authors, and their employers.

© Kovalenko T.V., Tikhonova N.G., Khlestkina E.K., Ukhatova Yu.V., 2022

## Введение

В современном мире генная инженерия винограда является мощной альтернативой традиционной селекции растений. Благодаря ей появилась возможность внедрения полезных агрономических признаков в сорта без изменения ключевых характеристик. Длительное время селекция винограда двигалась в направлении интрогрессии в геном восприимчивых к неблагоприятным условиям образцов генов устойчивости к биотическому стрессу от родителей-доноров (Saporta et al., 2016). Однако, длительные ювенильный период и репродуктивный цикл, высокие уровни гетерозиготности и интрогрессии нежелательных генов в период проведения скрещивания затрудняли применение традиционных методов селекции винограда (Rai, Shekhawat, 2014).

Генетическая трансформация может помочь преодолеть эти недостатки. Предпосылкой успешной генетической трансформации любого вида растений является наличие эффективного и воспроизводимого генотип-специфичного протокола для регенерации *in vitro*. Регенерация растений винограда в культуре *in vitro* ранее достигалась путем индукции регенерации придаточных побегов посредством соматического эмбриогенеза из разных эксплантов, таких как тычиночные нити (Saporta et al., 2016). Однако использование таких побегов в качестве исходного материала для индукции соматических эмбрионных каллусов было сопряжено с рядом недостатков: во-первых, необходимость в специалистах высокой квалификации для выбора правильной стадии цветения; во-вторых, трудоемкость и трудозатратность поддержания эмбрионных культур. Кроме того, этот метод оказался неприменим к некоторым генотипам винограда (Iosso et al., 2001).

Были разработаны протоколы для регенерации винограда *in vitro* путем прямого или непрямого органогенеза из листьев и черешков (Stamp, 1990), апикальных фрагментов побегов (Barlass, Skene, 1980; Dodueva et al., 2016) и междоузлий (Rajasekaran, Mullins, 1981).

Высокая эффективность регенерации была достигнута путем органогенеза меристематической ткани, полученной с помощью культивирования верхушек побегов на средах, содержащих повышенные концентрации цитокининов (Mezzetti et al., 2002). При этом происходит формирование большого количества побегов, что делает этот метод пригодным для экспериментов по геномному редактированию растений винограда. Однако, высокие концентрации цитокининов и, в частности 6-БАП, могут приводить к мутагенезу (Marchenko, 2008), что необходимо учитывать в работе.

В связи с созданием дублетных коллекций винограда и развитием методик геномного редактирования, существует необходимость в подборе оптимального состава среды, позволяющего добиться, при введении растений винограда в культуру *in vitro*, максимального коэффициента каллусообразования и регенерации. Это позволит

получить необходимое количество материала для дальнейшего редактирования, нокаута целевых генов и последующей регенерации таких растений, направленной на улучшение хозяйственно ценных признаков. Знание природы генов, контролирующих определенные признаки, как и наличие образцов винограда, геном которых секвенирован, способствует успешному проведению *in silico* анализа для создания редактирующих конструкций.

Цель настоящего обзора – систематизировать существующие данные литературы об известных коллекциях винограда, в том числе дублетных, поддерживаемых в условиях культуры *in vitro*, а также о достигнутых успехах в изучении генов винограда, влияющих на регенерационные процессы.

## Существующие коллекции винограда в России

Ампелографическая коллекция – воспроизведение культурных форм, диких видов винограда, предназначенных для изучения и выделения наиболее ценных из них. Ампелографическая коллекция решает задачи сохранения генофонда растений, селекции новых сортов, способных пополнить сортимент промышленного виноградарства за счёт форм с повышенной адаптацией к природным и почвенно-климатическим условиям участков возделывания.

В настоящее время российский генофонд винограда, суммарно насчитывающий свыше 10000 образцов (Agakhanov, 2022), сосредоточен в разных регионах Российской Федерации:

- Образцы, сохраняемые в коллекции ВИР: филиалы ВИР расположены в г. Крымске (Крымская опытно-селекционная станция – филиал ВИР), г. Владивостоке (Дальневосточная опытная станция – филиал ВИР), г. Дербент (Дагестанская опытная станция (ОС) – филиал ВИР);
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» Российской академии наук расположен в с. Вилино, Республика Крым;
- Всероссийский научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия имени Я.И. Потапенко – филиал ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко) расположен в г. Новочеркасске.
- Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (ФГБНУ СКФНЦСВВ), расположен в г. Анапа.
- «Дагестанская селекционная опытная станция виноградарства и овощеводства» – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (ДСОСВИО – филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ), расположен в г. Дербент.

**Состав ампелографических коллекций опытных станций ВИР.** На территории Крымской опытно-селекционной станции сохранялось порядка 688 образцов, входящих в разные эколого-географические группы (Negrul et al., 1946). Среди них для селекционных работ наибольший интерес представляли образцы, обладающие генами устойчивости к разным типам мучнистой росы, милдью или ложной (возбудитель – *Plasmopara viticola* de Bary), и оидиум или истинной (возбудитель – *Uncinula necator* Burill., синонимичное название *Erysiphe necator* Schweinitz, в конидиальной стадии – *Oidium tuckeri* Berk.). Источником данных генов устойчивости является вид *Vitis rotundifolia* Michx. (Agakhanov, 2022). Состав коллекции в настоящее время представлен в основном сортами европейско-азиатского происхождения, относящимися к виду *V. vinifera* L. Сорта и гибриды других видов рода *Vitis* L. составляют менее 2%, из которых большинство приходится на американский вид *V. labrusca* L. (Agakhanov, 2022).

Ампелографическая коллекция Дагестанской ОС является одной из самых крупных в системе ВИР. В настоящее время на территории опытной станции поддерживают и изучают 345 образцов винограда, при этом 320 являются сортами, 82 из которых – автохтонные, а 25 образцов – дикорастущие. Важной особенностью ампелографической коллекции Дагестанской ОС является поддержание образцов винограда в корнесобственной культуре, для оценки их устойчивости к филлоксеру (Agakhanov, 2022). Дальневосточная ОС – филиал ВИР – на сегодняшний день включает 214 образцов винограда, среди которых наибольший интерес представляют образцы *V. amurensis* Rupr. Данный вид неприхотлив и имеет хорошие показатели адаптации к различным климатическим условиям, однако не отличается зимостойкостью в условиях юга России, так как распускающиеся рано почки часто попадают под возвратные заморозки и погибают (Agakhanov, 2022).

**Биоразнообразие ампелографической коллекции «Магарач».** Всего ампелографическая коллекция «Магарач» содержит 4120 образцов: 3357 образцов – базовая коллекция винограда и 763 образца – специальная селекционная коллекция (которая включает сорта и формы селекции института «Магарач»). Семейство Vitaceae Lindley в ампелографической коллекции «Магарач» представлены тремя видами рода *Ampelopsis* Michaux; двумя видами рода *Parthenocissus* Planch. и 22 видами рода *Vitis* L. Род *Vitis* в коллекции представлен видами трех групп: американской, восточно-азиатской и европейско-азиатской. В ампелографической коллекции также есть местные сорта трёх эколого-географических групп вида *V. vinifera* – бассейна Черного моря (249), восточной эколого-географической группы (407) и западной эколого-географической группы (101) (URL: [\[institut.ru/ampelograficheskaja-kollekcija-magarach\]\(http://institut.ru/ampelograficheskaja-kollekcija-magarach\) \[дата обращения: 30.11.2022\]; Negrul et al., 1946\).](http://magarach-</a></p></div><div data-bbox=)

**Биоразнообразие ампелографической коллекции ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко.** Коллекция представлена сортами и формами более чем из 40 стран мира. Наибольшее количество образцов сортов из России (338), Молдавии (61), Узбекистана (43), Франции (40), Грузии (39), Украины (35), Венгрии (34), США (32), Армении (31), Болгарии (18).

В коллекции представлены высококачественные аборигенные образцы, из которых выделяют преимущественно донские сорта винограда – ‘Сибирьковский’, ‘Кумшацкий белый’, ‘Варюшкин’, ‘Пухляковский’, ‘Шампанчик Цимлянский’, ‘Цимлянский черный’ и другие. Эти сорта используются в промышленном виноградарстве. Вина и другая продукция на основе перечисленных сортов поставляются на отечественный и зарубежный рынки (URL: <https://rusvine.ru/брк> [дата обращения: 30.11.2022]).

**Биоразнообразие ампелографической коллекции Анапской станции филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.**

На сегодняшний день в ампелографической коллекции Анапской зональной ОС виноградарства и виноделия – филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ, сохраняемый генофонд винограда насчитывает 4941 образец, в том числе: столового направления – 3162 генотипа, технического направления – 1726, сорта-подвои – 53. Три четверти генофонда Анапской станции филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ до 2009 года занимали сорта *V. vinifera* европейско-азиатского происхождения. Эти сорта являлись доминирующими в коллекции (Egorov et al., 2009).

В настоящее время ампелографическая коллекция винограда включает 17 сортов, которые являются источниками селекционно-ценных признаков (URL: [http://azosviv.info/vzglyad\\_v\\_istoriyu.html](http://azosviv.info/vzglyad_v_istoriyu.html) [дата обращения: 30.11.2022]). Эта коллекция, одна из самых крупных в России, была создана по инициативе ВИР в 1995 году и находится в Анапе. В ее состав входят сорта, интродуцированные из коллекций Туркменской и Дальневосточной ОС ВИР, которые собирали и сохраняли сотрудники института (Nosulchak et al., 2007).

**Биоразнообразие ампелографической коллекции Дагестанской селекционной опытной станции виноградарства и овощеводства филиала ФГБНУ СКФНЦСВВ.**

Дагестанская селекционная ОС виноградарства и овощеводства является филиалом ФГБНУ СКФНЦСВВ с 7 февраля 2017 года. В настоящее время коллекция насчитывает 535 сортов и гибридных форм винограда, которые служат основой для проведения селекционных, агротехнических и физиологических исследований. Из них более 70 являются автохтонными. В коллекции в основном представлены технические сорта, более 60%, однако есть столовые и столово-винные сорта, которые вместе занимают третью часть. Особую ценность коллек-

ции представляют бессемянные сорта, которые пользуются повышенным интересом: ‘Кишмиш розовый’, ‘Кишмиш черный’, ‘Кишмиш белый’, ‘Кишмиш лучистый’, ‘Кишмиш дербентский’ и другие (URL: <https://dagsosvio.ru> [дата обращения: 22.02.2023]).

### **Необходимость создания дублетных коллекций *in vitro* для надежного сохранения образцов винограда: мировой и российский опыт**

Генетические ресурсы растений служат стратегической базой эффективного стабильного развития не только сельского хозяйства, но и всех отраслей экономики и социальной сферы Российской Федерации и мира в целом. Многие успешные программы по селекции растений через 50-70 лет будут переживать период упадка, если не предпринять усилий, направленных на надежное сохранение агробιοразнообразия и привлечение генов из других источников. В системе адаптивной селекции, как отмечал А.А. Жученко (Zhuchenko, 1988), особое внимание должно быть уделено поиску, сохранению, идентификации и использованию соответствующих геноисточников.

В 1999 году на XVI Международном ботаническом конгрессе отмечалось, что необходимо принять решительные меры по сохранению видового разнообразия растений. Если этого не сделать, то к середине XXI века могут быть утрачены до 2/3 из 300 тысяч видов растений, произрастающих в настоящее время на Земле (Revin et al., 2000).

Проблемы, связанные с разрушением природных местообитаний, попытками сокращения размеров существующих заповедных территорий, с организацией создания новых и управления ими, с необходимостью восстановления численности видов, по-прежнему актуальны, однако решать их необходимо с учетом важности и срочности принимаемых мер, с расстановкой приоритетов и поиском новых подходов и инструментов для сохранения биоразнообразия (Heywood, Iriondo, 2003). Одним из таких новых подходов является использование биотехнологий. В настоящее время развивается биотехнология сохранения растений, основной задачей которой является дополнение существующих традиционных методов сохранения биоразнообразия *ex situ* и *in situ* современными биотехнологическими инструментами, обеспечивающими возможность устойчивого управления генетическими ресурсами (Benson et al., 2000). Технологии *in vitro* в системе *ex situ* коллекций играют важную роль как неотъемлемая часть стратегии сохранения генофонда растений.

В мире существуют разнообразные коллекции генофонда растений. Они варьируют от относительно небольших рабочих коллекций, используемых селекционерами для их непосредственных нужд и не всегда предназначенных для длительного хранения, до широкомасштабных законсервированных коллекций, содер-

жащих целый спектр генотипов. В последнем случае, насущной необходимостью является обеспечение коллекций материалом, находящимся под угрозой исчезновения с тем, чтобы он был легкодоступен для удовлетворения более специфических потребностей рабочих коллекций. Поэтому коллекция генофонда растений должна обладать динамикой. Весьма желателен постоянный международный обмен материалом.

Длительное хранение живой ткани в виде семян в настоящее время технически разрешимо для большинства видов сельскохозяйственных культур. Несмотря на большие преимущества банков семян по сравнению с другими методами сохранения *ex situ*, следует отметить, что их содержание затратно из-за высоких расходов на электроэнергию и техническое обслуживание холодильных установок, на квалифицированное обслуживание самой коллекции, требующей регулярное тестирование на всхожесть, проведение регенерации семян и прочих процедур, на другие нужды. К тому же существует риск полной или частичной потери коллекций при воздействии экстремальных факторов среды. В качестве примера можно привести гибель почти половины банка семян в Японии из-за перебоев в электроснабжении, вызванных катастрофическим цунами, обрушившимся на побережье Японии весной 2011 года (Kershengolts et al., 2011).

Длительное хранение вегетативного материала требует большего постоянного внимания, чем хранение семян при низкой температуре. Исследования F.D. Amato с соавторами (Amato et al., 1975), R. Galzy с соавторами (Galzy et al., 1985), показали, что очень нестабильными при хранении могут быть искусственно культивируемые слабоорганизованные ткани и клетки. Генетическая нестабильность их может быть результатом трех факторов: генетической изменчивости клеток экспланта, мутагенного действия условий культивирования *in vitro* и влияния отбора *in vitro*. Организованные культуры, в которых размножение основано на образовании пазушных стеблевых меристем, в целом более пригодны для длительного сохранения генофонда растений.

Примеры из библиографии, приведенные в статье R. Galzy с соавторами (Galzy et al., 1985), свидетельствуют о том, что для сохранения клонов растительный материал должен быть получен из меристем, взятых от целого растения, а выращиваемая культура, насколько возможно, ограждена от действия фитогормонов. Исключительно из экономических соображений желательно, чтобы культуры во время хранения требовали бы минимального ухода. Хранение культуры в нерастущем состоянии – «приостановленной жизни» – обладает значительными преимуществами как в отношении стоимости процедуры, так и снижения частоты мутаций. Криосохранение в жидком азоте позволяет достичь такого состояния, однако в настоящее время методы ещё недостаточно разработаны для универсального применения, в частности, при работе с организованными культурами (Ukhatova, Gavrilenko, 2018).

В настоящее время сохраняемые в генетических бан-

ках коллекции генетических ресурсов растений принято подразделять на три типа: базовые, активные и дублетные. Базовые коллекции сохраняют в условиях, обеспечивающих их длительное хранение (long-term conservation), доступ к ним предельно ограничен. Активные коллекции служат для восстановления, размножения, рассылки и изучения образцов; они сохраняются в условиях, обеспечивающих среднесрочное хранение (medium-term conservation). Дублетные коллекции хранят отдельно от базовой коллекции с целью увеличения надежности хранения (FAO, 2014).

Применительно к коллекциям вегетативно размножаемых культурных растений, в базовые коллекции включают все образцы, сохраняемые в полевых условиях (Plekhanova, 2002), и образцы, заложенные на хранение при температуре  $-196^{\circ}\text{C}$  (при развитии методов надежно криосохранения).

Коллекции *in vitro* создают как часть активной и дублетной коллекций. Состав и размер *in vitro* коллекций определяется структурой стержневой коллекции генофонда каждой культуры, требованиями международного обмена, необходимостью оздоровления, размножения и дублирования наиболее ценных экземпляров полевой коллекции. Коллекции *in vitro* обеспечивают сохранение оздоровленных от патогенов образцов вегетативно размножаемых растений в контролируемых условиях среды. В крупных мировых генбанках присутствуют все три системы хранения генетического материала культурных растений, размножаемых вегетативно (полевые, *in vitro* и криоколлекции), поскольку каждая из перечисленных выше систем хранения имеет свои преимущества и недостатки (Gavrilenko et al., 2007).

Генофонд плодовых и ягодных культур умеренного климата представлен преимущественно полевыми коллекциями и сосредоточен в генбанках и научно-исследовательских институтах. Наиболее трудоемкие и дорогие криоколлекции и коллекции *in vitro*, как правило, немногочисленны по сравнению с полевыми коллекциями и поддерживаются не во всех подразделениях, сохраняющих генофонд ягодных и плодовых культур.

Международным институтом генетических ресурсов растений (IPGRI)<sup>1</sup>, издано специальное пособие для внедрения программы сохранения генетического разнообразия в условиях хозяйства (on farm) с целью вовлечения фермеров в национальные программы по сохранению биоразнообразия и селекции (Jarvis et al., 2000).

Возможность создания банка культур *in vitro* для длительного хранения генофонда растений является важнейшим достижением биотехнологии (Gavrilenko et al., 2007).

В качестве объектов используются: редкие или исчезающие виды растений; виды с рекальцитрантными семе-

нами; виды, имеющие проблемы с семенным или вегетативным размножением; элитные генотипы растений или растения, полученные с помощью генетической инженерии (Kashin et al., 2001). Если цикл «введение в культуру *in vitro* – микроразмножение» не включал каллусной стадии и был основан на развитии микрорастений из меристем (организованных тканей), то полученные микроклоны, как правило, сохраняют все генотипические характеристики исходного образца (Vysotsky, Vysotskaya, 2002). Поэтому этот способ охраны генотипов в условиях *in vitro* является общепринятым (Reed, Chang, 1997).

Исследователи Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина (ГБС РАН), Волгоградского регионального ботанического сада, Центра сохранения генетических ресурсов растений (Vetchinkina et al., 2008) отмечают, что хранение ценных форм растений *in vitro* является высокоэффективным и полезным способом для содержания коллекций растений и сохранения биологического разнообразия. Е.М. Ветчинкина и О.И. Молканова (Vetchinkina, Molkanova, 2008) доказали преимущество и рекомендуют использование эмбриокультуры в условиях *in vitro* для сохранения биоразнообразия представителей семейств Iridaceae Juss., Paeoniaceae L., Litaceae Juss. Генетический банк растений *in vitro* в ГБС РАН формировался с 1996 года и по настоящее время является уникальным и наиболее представительным в России. Он содержит 153 вида, 1157 сортов и отборных форм, относящихся к 183 родам и 61 семейству. Около 70% коллекции *in vitro* относится к фиторесурсным видам. Наиболее полно представлены семейства: Actinidiaceae, Asteraceae, Caprifoliaceae, Ericaceae, Hydrangeaceae, Liliaceae, Oleaceae, Rosaceae (Molkanova et al., 2019).

Н.А. Вечёрко с соавторами (Vechyorko et al., 2008) усовершенствовали метод микроклонального размножения, который позволил оздоравливать, размножать перспективные сорта и формы, сохранять биоразнообразие яблони в Казахстане. Исследование эффективности клонального микроразмножения для сохранения редких, эндемичных и находящихся под угрозой исчезновения видов Прибайкалья осуществляется в Сибирском институте физиологии биохимии растений (Gamburg et al., 2008).

Методы биотехнологии используются для сохранения и воспроизводства ценного генофонда видов берез, трудно размножаемых быстрорастущих триплоидных форм тополя, продуктивных гибридов осины (Mashkina et al., 2016). Технологии *in vitro* позволяют одновременно достичь высокого уровня мультипликации растительного материала и освобождения от вирусных, бактериальных и грибных заболеваний (Butenko et al., 1999). Миниатюризация эксплантов значительно экономит рабочее пространство, затраты на труд для поддержания коллек-

<sup>1</sup> От редактора: IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) с 2006 года, называется Bioversity International. Информацию можно получить на сайте IFPRI (International Food Policy Research Institute)/ Editor's note: IPGRI since 2006 is named Bioversity International. For information visit IFPRI at URL: <https://www.ifpri.org/publisher-source/international-plant-genetic-resources-institute-ipgri> [дата обращения 2022]

ций. Протоколы микроразмножения, разработанные для нескольких тысяч растений, включая редкие и исчезающие формы, служат основой для успешного введения в культуру, размножения и сохранения в банке культур *in vitro* новых образцов (George et al., 2008).

Так, в коллекции Королевского ботанического сада (Кью, Великобритания) в банке *in vitro* поддерживается свыше трех тысяч таксонов, большинство из которых – редкие и исчезающие виды (Chen et al., 1994).

Количество исследований по винограду в этом направлении не столь значительно. Это исследования зарубежных авторов (Barlass, Skene, 1979; Galzy et al., 1985; Blaich et al., 1985; Alleweldt, Harst-Langenbucher, 1987), а также отечественных ученых, внесших вклад в разработку методик клонального микроразмножения образцов (Golodriga et al., 1986; Marchenko et al., 1987; Marchenko, 2008; Medvedeva et al., 2008). В настоящее время коллекции винограда *in vitro* создаются во Всероссийском национальном научно-исследовательском институте виноградарства и виноделия «Магарач» РАН из сортов, гибридных форм селекции института, сортов-подвоев, а также клонов технических сортов.

Разрабатываются способы увеличения сроков хранения медленно растущей коллекции ценных сортов и клонов винограда в культуре *in vitro*. В Национальном научном центре «Институт виноградарства и виноделия имени В.Е. Таирова Национальной академии аграрных наук Украины» изучают методы хранения коллекционного материала винограда в культуре *in vitro*. Опубликованы результаты исследований хранения ценных генотипов винограда, показавшие, что большая их часть, из числа изученных, способна к эффективному размножению в стерильных условиях (Pavlova, Klimenko, 2009). Разрабатываются методы создания и сохранения коллекции генофонда винограда *in vitro* в лаборатории биотехнологии ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко с использованием апикальных меристем, как исходных эксплантов для размножения и сохранения ценных образцов (Zelenyanskaya et al., 2016). Работы по созданию *in vitro* коллекций винограда инициированы при оптимизации протоколов введения в асептические условия 10 автохтонных сортов винограда в ВИР (Agakhanov, 2022).

Исследования G. Alleweldt, M. Harst-Langenbucher (Alleweldt, Harst-Langenbucher, 1987) направлены на изучение влияния ингибиторов роста на жизнеспособность эксплантов с целью оптимизации продолжительности хранения. В качестве ингибиторов применяли хлорхлинхлорид и алар. Изучены различные концентрации ингибиторов и температуры хранения. Получены положительные результаты: применение хлорхлинхлорида в концентрации 0,5–1,0 г/л повышало срок беспересадочного хранения жизнеспособных микрорастений винограда. Вопросам среднесрочного хранения образцов винограда в культуре *in vitro* посвящена работа французских ученых (Iacob et al., 1989), которые исследовали хранение образцов в темноте при 8°C в течение различных проме-

жутков времени (1–8 месяцев) и последующий характер роста растений винограда. M. Harst-Langenbucher (Harst-Langenbucher, 1982) исследовал долгосрочное хранение 35 сортов винограда и установил оптимальные условия предварительного поддержания образцов в культуре и их хранения без пересадок в течение 12 месяцев.

В статье «Генетические ресурсы мира» D. Jane Bower (Bower, 1989) отмечает необходимость координации усилий по созданию соответствующих баз данных, включающих характеристики образцов растений, сведения об условиях роста, хранения и другую информацию, а также улучшение доступа к ним через автоматизированные информационные сети. P.L. Forsline (Forsline, 1988) сообщает, что национальное хранилище генофонда (National Center for Genome Resources, NCGR) в штате Нью-Йорк начало работы по сохранению коллекций генофонда яблони и винограда, полученных клоновым путем из национальных и межнациональных источников, и поддержанию этого генофонда на плантациях, в оранжереях и теплицах, а также оценке этого генофонда с точки зрения его чистоты, сохранности вида и характеристик. Сообщено о сохранении 800 сортов винограда. Г.В. Ерёмин с соавторами (Yeremin et al., 1991), описывая сохранение генофонда и улучшение соргимента плодовых и ягодных культур в США, обращают внимание на то, что проблема хранения генофонда решена в 1986 году в национальном масштабе. Генофонд сельскохозяйственных культур создан при помощи национальной системы генофонда, состоящей из восьми хранилищ, четырех региональных станций и других лабораторий. Чтобы достигнуть большего эффекта и снизить затраты при длительном хранении генофонда, необходимо освободить растительный материал от вирусов и быстро размножить его. При этом обязательными считаются методы культуры тканей, криоконсервация, информационный банк данных.

Условия роста исходного материала, включая питательную среду и свет, могут оказывать значительное влияние на регенерационную способность микропобегов и протопластов (Reed, Bargmann, 2021). Когда речь идет о регенерации растений из каллуса, полученного из протопластов, будь то эмбриогенный или соматический каллус, состав среды может определять эффективность регенерации. В большинстве методов используются твердые среды на основе минеральных компонентов, предложенных T. Murashige и F. Skoog (Murashige, Skoog, 1962), дополненные ауксином и цитокинином.

Некоторые методы включают добавление других компонентов в среду для регенерации, которые будут способствовать росту и дифференцировке каллуса. Активированный уголь является распространенной добавкой, обладающей способностью предотвращать потемнение каллуса путем адсорбции ингибиторов роста (Prange et al., 2010; Masani et al., 2013). M.Y.A. Masani с соавторами (Masani et al., 2013) оптимизировали протокол регенерации жизнеспособных растений масличной пальмы из протопластов, полученных из суспензионных куль-

тур клеток. Регенерацию проростков из микрокаллу-сов осуществляли путем соматического эмбриогенеза после последовательных стадий субкультивирования на среде с ограниченным содержанием регуляторов роста и с добавлением 200 мг/л аскорбиновой кислоты. Исследователи обнаружили, что аскорбиновая кислота увеличивает количество эмбрионных каллусов, что впоследствии повышает эффективность регенерации растений из протопластов, полученных из суспензии эмбрионных клеток.

Изучено влияние активных веществ биологического и синтетического происхождения на морфогенез многих культур, в том числе и для растений-регенерантов рода *Vitis*. Однако, представители рода *Vitis* характеризуются значительной изменчивостью и разнообразием физиологических и морфологических признаков, вследствие чего рекомендуемые среды и компоненты для выращивания в условиях *in vitro* могут подходить не каждому сорту.

Чаще всего для *in vitro* регенерации винограда применяют цитокинины (БАП, кинетин, ТДЗ), ауксины (ИМК, ИУК, НУК) и гиббереллины (ГК)<sup>2</sup>.

Ювенильное состояние микрорастений в коллекциях *in vitro* не позволяет идентифицировать сорта по морфологическим признакам пробирочных растений. Использование белковых (изоферментных) (Vysotskaya et al, 1994) и ДНК-маркеров (Butenko et al., 1999; Craig et al, 2005; Pnitskaya, Makarkina, 2016) является эффективным широко используемым подходом для идентификации и регистрации образцов в коллекциях *in vitro*. Молекулярные маркеры используют также и для контроля генетической стабильности *in vitro* образцов, длительно сохраняемых в контролируемых условиях среды. Результаты немногочисленных работ по оценке генетической стабильности образцов после хранения в культуре *in vitro* (микрорастения) или после криохранения (меристемы, пыльца) не выявили генетических изменений по сравнению с контрольными растениями, представленными полевыми аналогами данных образцов (Orlikowska et al., 1991).

Соматическая изменчивость – потенциальное явление при регенерации микрорастений и протопластов, которое может проявляться в изменениях морфологических признаков или вариации уровня пloidности (Prange et al., 2010; Tomiczak et al., 2015; Barceló et al., 2019; Sheng et al., 2021). Полиплоидизация во время образования каллуса, является результатом эндоредупликации (амплификации ДНК без митоза) в клетках каллуса, что было показано ранее у гороха (*Pisum sativum* L.) (Ochatt et al., 2000) и люцерны (*Medicago truncatula* Gaertn.) (Ochatt et al., 2000; Elmaghrabi et al., 2022). Было показано, что регуляторы роста растений, обычно добавляемые в питательные среды для культивирования протопластов, оказывают влияние на частоту эндоредупликации

у сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) (Lukaszewska et al., 2012). Дупликация генома во время культивирования протопластов связана с более быстрым делением тетраплоидных протопластов по сравнению с диплоидными, что было показано у табака (*Nicotiana glauca* Viv.) (Sala et al., 1982) и рапса (*Brassica napus* L.) (Magnien et al., 1982; Chen et al., 2016).

Время в культуре ткани увеличивает шансы самоклональной изменчивости. Поэтому выделение протопластов из ткани растения предпочтительней их выделения из ткани каллуса, поскольку отсутствие дополнительной стадии *in vitro*, которая требуется для получения каллуса, позволило бы избежать самоклональной вариации. Хотя такая изменчивость нежелательна в коммерческом растениеводстве, ее преимущество в эксперименте заключается в создании фенотипической изменчивости с большим количеством регенерантов, которые могут быть получены из протопластов. Самоклональная изменчивость дает потенциал для идентификации мутаций, которые могут быть полезны для различных целей, таких как биотическая, абиотическая устойчивость (Kielkowska, Adamus, 2019) или создание желаемого декоративного свойства.

С появлением CRISPR/Cas9 и связанной с ним технологии редактирования генов появилась возможность прямой модификации геномов сельскохозяйственных культур, что открыло новую эру в селекции и сельском хозяйстве (Zhang et al., 2019). Эти передовые технологии селекции растений создали основу для фундаментальных и трансляционных исследований, которые ранее были недоступны. В отличие от трансгенных подходов, генетическое редактирование позволяет ускорить вывод новых линий сельскохозяйственных культур на рынок (Lassoued et al., 2021).

Использование регенерации протопластов в селекции имеет многообещающее будущее. Этот метод использовался во многих приложениях редактирования генов для улучшения характеристик сельскохозяйственных культур; например, для нокаута гена *BIN2*, кодирующего один из стероидных гормонов у салата (*Lactuca sativa* L.) (Woo et al., 2016), гена крахмалсинтазы (GBSS) в картофеле (Andersson et al., 2018), а также олиго-направленного мутагенеза гена 5-енолпирувиллицимаат-3-фосфатсинтазы (EPSPS) у льна (*Linum usitatissimum* L.) (Sauer et al., 2016). Последнее с высокой частотой делало растения-регенеранты устойчивыми к гербициду глифосату.

Тем не менее, существуют препятствия, которые необходимо устранить, чтобы преодолеть некоторые проблемы, связанные с регенерацией растений из протопластов. В целом, эти методы, применительно к отдельным генотипам, очень специфичны и их необходимо сделать более универсальными для повышения применимости и эффективности. Эктопическая экспрессия эмбрионных или

<sup>2</sup> От авторов: БАП - 6-бензиламинопурин; ТДЗ – тидиазурон; ИМК - индолил-3-масляная кислота; ИУК - β-индолилуксусная кислота; НУК - нафталинуксусная кислота; ГК - гиббереллиновая кислота. Authors' notes: BAP -6-benzylaminopurine; TDZ – Thidiazuron; IBA - indolyl-3-butyric acid; IAA - β-indoleacetic acid; NAA - naphthaleneacetic acid; GA - gibberellic acid.

морфогенных факторов потенциально может сделать технологию регенерации растений из протопластов универсальной. В связи с этим важное значение приобретает работа по идентификации факторов, переключающих рост каллуса с вегетативного на эмбриогенный. Теоретически, если достаточное количество протопластов может непосредственно развиться в эмбрионы, частота регенерации увеличится, что приведет к большому количеству ростков-регенерантов. Прямое превращение протопластов в эмбрионы также может сократить время культивирования тканей, уменьшая потенциал соматической изменчивости (Boutillier et al., 2002).

Знание природы генов, контролируемых определенных хозяйственно-ценные признаки, как и наличие образцов винограда, геном которых секвенирован, способствует в дальнейшем успешному проведению *in silico* анализа для создания редактирующих конструкций. В рамках настоящего обзора рассмотрим известные генетические механизмы контроля регенерации растений применительно к винограду.

### Известные гены и генетические механизмы контроля регенерации растений

Способность тканей растений к регенерации *in vitro* существенно различается между видами и внутри видов и зависит от применяемых условий культивирования. Понимание генетических факторов, лежащих в основе этой изменчивости, может помочь улучшить многочисленные биотехнологические приложения, использующие регенерацию *in vitro*. Различают два типа факторов, которые способствуют естественной регенеративной изменчивости: основные регуляторы, которые сохраняются во всех экспериментальных системах (например, гомеобоксные гены, родственные *WUSCHEL*) и условные регуляторы, относительная роль которых зависит от экспланта и условий инкубации (Lardon, Geelen, 2020).

Клональное размножение и генная инженерия растений требуют регенерации, но она затруднена для некоторых видов, и существует большая вариабельность реакций эксплантов. Потенциально новыми генами, ответственными за регенерационную способность являются *AT3G09925*, *SUP*, *EDA40* и *DOF4.4*.

Нарушение *AT3G09925*, *QKY*, *RLP9* или *WAVH2* вызывает значительные изменения в формировании побегов *de novo*, но ни одна из линий полностью не утратила свою регенерационную способность, возможно, из-за избыточности генов или неполной потери функции. Визуальный осмотр эксплантов позволил предположить, что, в то время как *QKY* влияет только на рост каллуса, *AT3G09925* и *RLP9* активны на стадии формирования зародыша, а *WAVH2* определяет как инициацию, так и развитие побегов. Эти результаты показали, что многие детерминанты регенерации сильно зависят от генотипа. Поэтому было сделано предположение, что только

небольшой набор основных регуляторов, таких как *WUS*, имеет решающее значение для проявления регенерационной способности определенного мутанта, равно как растений дикого типа, в различных условиях (Lardon et al., 2020).

Понимание физиологических, клеточных и молекулярных механизмов регенерации растений важно для решения оставшихся без ответа фундаментальных вопросов клеточной биологии и биологии развития. В дополнение к гормонально-опосредованной индукции соматического эмбриогенеза, рост соматических эмбрионов также может ускоряться за счет сверхэкспрессии генов специфических факторов транскрипции (англ. TF), таких как гомеодомен-содержащие *WUSCHEL* (*WUS*), AP2 TFs *PLETHORA 4/ BABY BOOM* (*PLT4/ BBM*), *PLT5/ EMBRYO MAKER* (*PLT5/ EMK*), *MADS box TF AGAMOUS-LIKE 15* (*AGL15*), регуляторов эмбриогенеза *LEC1*, *LEC2* и гена *SERK1*, кодирующего рецептор-подобную киназу 1 соматического эмбриогенеза (Lotan et al., 1998; Hecht et al., 2001; Stone et al., 2001; Boutillier et al., 2002; Harding et al., 2003; Thakare et al., 2008; Tsuwamoto et al., 2010; Shan et al., 2013).

Было показано (Mozgova et al., 2017), что активность репрессивного белкового комплекса PRC2 (Polycomb Repressive Complex 2), известного как эпигенетический процессор фазовых переходов развития у растений (Xiao, Wagner, 2015), создает препятствие для опосредованного гормонами транскрипционного перепрограммирования эмбриогенеза в вегетативной ткани *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Обнаружение молекулярных механизмов контроля процесса соматического эмбриогенеза станет одним из наиболее важных подходов к выявлению факторов, контролируемых эмбриогенез *in vitro*. Результаты анализа генов, отвечающих за передачу сигналов от места повреждения, показали, что ранение значительно влияет на регенерацию растений (Iwase et al., 2011). Однако информации о том, как сигналы, исходящие от места повреждения, влияют на регенерацию растений *in vitro*, все еще недостаточно (Xu, Huang, 2014; Lup et al., 2016).

M. Ikeuchi с соавторами (Ikeuchi et al., 2017), используя анализ транскриптома и количественный анализ спектра гормонов, показали, что образование каллуса, вызванное повреждением ткани у арабидопсиса, является результатом изменения экспрессии генов, участвующих в биосинтезе гормонов. Это, в свою очередь, приводит к усиленному накоплению цитокинина, исключительно важного для образования каллуса, вызванного раной. L. Xu и H. Huang (Xu, Huang, 2014) сообщили об осуществлении краткосрочной и долгосрочной передачи сигналов от раны в процессе регенерации растений. Кратковременная передача сигналов от раны состоит из трех этапов. Стадия 1 длится несколько часов, и сигнал от раны быстро распространяется от места раны к клеткам мезофилла и активирует там экспрессию генов *YUCCA1* (*YUC1*) и *YUC4*. На стадии 2 экспрессия генов, кодиру-

ющих факторы транскрипции YUCs вызывает выработку ауксина в течение 4 часов, а затем направленную его передачу к регенерирующим клеткам вокруг места раны приблизительно в течение 12 часов после ранения. На стадии 3, когда ауксин достигает регенерирующих клеток, экспрессия родственных *WUSCHEL* гомеобокс-содержащих генов *WOX11* и *WOX12*, вызывает изменение специализации клеток примерно через 1-2 дня после ранения (Liu et al., 2014). Во время долговременной передачи сигналов от раны активируется экспрессия гена *YUC4*, а также группы генов транскрипционных факторов NAC (NAM, ATAF1, ATAF2 и CUC2), включая NAC1, которые присутствуют в клетках вблизи места раны. Задачей NAC1 является контроль процесса пролиферации посредством метаболизма клеточной стенки (Xu, Huang, 2014). Экспрессия генов факторов транскрипции *YUC4* приводит к высокому накоплению ауксина в регенерирующих клетках (Chen et al., 2016). Корреляция между активацией NAC1 и *YUC4* для производства ауксина остается загадкой, которую необходимо прояснить в будущем (Xu,

Huang, 2014). Недавно В. Rymen с соавторами (Rymen et al., 2019) выявили у растений эпигенетический механизм индуцированного повреждением клеточного перепрограммирования. Они подтвердили экспрессию некоторых индуцированных раной генов транскрипционных факторов, таких как WIND1, H3K9/14ac и H3K27ac, сразу после ранения эксплантата. Тем не менее, ранение оказывает сложное биологическое воздействие и выполняет множество задач в регенерации растений, но то, как рана повторно активирует клеточную пролиферацию и ускоряет клеточное перепрограммирование, пока не очень ясно. Необходимы детальные исследования для того, чтобы прояснить все аспекты этого процесса (Ikeuchi et al., 2017; Bidabadi, Jain, 2020).

Как видно из таблицы, к настоящему времени известно много генов, ответственных за регенерацию у винограда. Для поиска новых генов, кодирующих процессы регенерации, важно проанализировать действие таких генов у других видов растений (см. таблица).

**Таблица. Гены, участвующие в контроле регенерации у винограда**

**Table. Genes controlling regeneration in grapes**

Гены, семейства генов/ Genes, gene families	Функция/ Function
Системы <i>WOX-CLAVATA</i>	- консервативные для разных меристем регуляторные гены, которые обеспечивают размер и постоянство состава меристемы, а также баланс пролиферации и дифференцировки стволовых клеток; - поддержание меристем и их взаимодействие с другими меристемными регуляторами (Dodueva et al., 2016)
<i>WUS</i> <i>WOX5</i>	- кодируют гомеодомен-содержащие транскрипционные факторы (ТФ, англ. TF), действие которых приурочено к апикальной меристеме побега (ПАМ ТФ WUS) и апикальной меристеме корня (КАМ ТФ WOX5) - возникновение <i>de novo</i> организующего центра апикальной меристемы из потомков дифференцированных клеток связано с возобновлением экспрессии генов <i>WUS</i> и <i>WOX5</i> (Dodueva et al., 2016)
<i>WOX4</i>	- регулирует развитие латеральных меристем (ЛМ) – прокамбия и камбия (Dodueva et al., 2016)
<i>WOX8</i> и <i>WOX9</i>	- являются регуляторами первичной разметки зародыша (Dodueva et al., 2016)
<i>WOX</i> и <i>PIN</i>	- показано их участие в процессах соматического эмбриогенеза у <i>Medicago truncatula</i> (Tvorogova et al., 2016)
<i>IDA</i> и <i>CEP</i>	- вовлечены в процессы развития меристем растений (Gancheva et al., 2019)
<i>PIP</i>	- ортологи генов <i>PIP</i> выявлены у винограда - участвуют исключительно в ответе на широкий круг патогенов - экспрессия гена <i>PIP1</i> наблюдается в проводящих тканях, что позволяет предположить, что <i>PIP1</i> является мобильным сигналом, вовлеченным в системный иммунный ответ (Gancheva et al., 2019)
<i>VvP5CS</i> <i>VvOAT</i> <i>VvP5CDH</i>	- способствуют накоплению пролина (Pro). Накопление Pro защищает растительную клетку при абиотическом стрессе. Эти результаты подтвердили, что проростки-регенеранты из мутантных каллусов, имевших повышенное содержание Pro в клетках, приобрели также и солеустойчивость (Wang et al., 2018)

Гены, семейства генов/ Genes, gene families	Функция/ Function
<i>VvbZIP36</i>	- действует как отрицательный регулятор биосинтеза антоцианов - нокаут одного аллеля <i>VvbZIP36</i> в виноградной лозе с использованием технологии CRISPR/Cas9 способствовал накоплению антоцианов (Tu et al., 2022)
<i>VvCCD8</i>	- играет ключевую роль в контроле ветвления побегов виноградной лозы (Ren et al., 2020)
<i>VvLBD</i> ( <i>LATERAL ORGAN BOUNDARIES DOMAIN</i> )	- кодируют факторы транскрипции, играющие ключевую роль в регуляции развития органов растений, развития пыльцы, регенерации растений, метаболизма антоцианов и азота, ответной реакции на патоген, (Grimplet et al., 2017)
<i>VvTCP</i>	- могут играть важную роль в росте и развитии растений (Leng et al., 2019)
<i>VvAP2/ERF</i>	- кодируют факторы транскрипции, которые играют решающую роль в росте и развитии растений и в ответ на биотические и абиотические стрессовые условия у растений, связаны с созреванием ягод (Licausi et al., 2010)
<i>VvERF-VIIs</i>	- продукты генов служат переключателями и движущей силой для активации ингибированной меристемы во время раскрытия почек (Shi et al., 2020)

Информация о генах, участвующих в контроле процессов регенерации растений – важная составляющая, которая позволит более эффективно редактировать различные сорта и может способствовать в перспективе выходу виноградарства на новый уровень.

Виноград был использован для полногеномного поиска ассоциаций признаков с молекулярными генетическими маркерами, такими как однонуклеотидные полиморфизмы (Single Nucleotide Polymorphisms или SNPs). Была исследована связь таких изменений нормального развития растений, как хлороз листьев и задержка роста, вызванных дефицитом или накоплением макро- и микроэлементов, с последовательностями ДНК отдельных хромосом. Аномалии роста, обусловленные недостатком или избытком натрия и магния, оказались ассоциированными со всеми хромосомами, кроме 5, 7 и 17, с учетом 40% изменчивости, которая зависела от генотипа изученных образцов. Симптомы дефицита (или избытка) только натрия были связаны с SNP-маркерами хромосомы 3, а таковые магния – с SNP-маркерами хромосом 11 и 18 (Naegele et al., 2021). Аналогичный геномный поиск необходим и для признаков регенерационной способности.

В части изучения винограда необходимо выявление гомологов генов, известных для других видов растений, с целью их изучения и редактирования, направленного на повышение эффективности регенерации у винограда.

### Заключение

Анализируя данные вышеперечисленных исследований, можно сделать вывод, что процессом регенерации растений в общем и винограда, в частности, можно управлять, манипулируя сигнальными путями, связанными с взаимодействием фитогормонов, повреждением эксплантов и запрограммированной гибелью клеток. Хотя ключевые регуляторы путей передачи сигналов гормонов были обнаружены ранее, требуется дополнительная работа,

чтобы понять, как они восстанавливают способность клеток к пролиферации.

Несмотря на огромный прорыв, ученым только предстоит узнать ответы на следующие вопросы: как экспланты понимают и передают эндогенные и экзогенные сигналы, и как они индуцируют или поддерживают дифференцировку клеток. Более того, полезно изучить различные механизмы как на молекулярном, так и на физиологическом уровнях, с помощью которых экспланты регулируют регенерацию *in vitro*. Перспективы редактирования генов в дифференцировке винограда следующие: преодоление генетической зависимости от регенерации растений *in vitro* посредством органогенеза, соматического эмбриогенеза, андрогенеза и регенерации протопластов. Отдельного внимания заслуживает вопрос подбора оптимальной питательной среды для каждого конкретного сорта. В то же время, наблюдается определенный прогресс в понимании процессов регенерации растений винограда в культуре *in vitro*, о чем свидетельствуют новые научные публикации.

### References/Литература

- Agakhanov M.M. Genetic diversity and breeding value of accessions from the VIR ampelography collection [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2022. [in Russian] (Агаханов М.М. Генетическое разнообразие и селекционная ценность образцов ампелографической коллекции ВИР): дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2022).
- Alleweldt G., Harst-Langenbacher M. Der einfluss von *in vitro* wachstumsinhibitoren auf die zangzeit-lagerung von *in vitro* kulturen der rebe. *Vitis*. 1987;26(2):57-64. [In German]. DOI: 10.5073/vitis.1987.26.57-64
- Amato F.D. The problem of genetic stability in plant tissue and cell cultures. In: O.N. Franfel, I.G. Hawkes (eds.). Crop genetic resources for today and tomorrow. Cambridge University Press; 1975.
- Andersson M., Turesson H., Olsson N., Fält A.-S., Ohlsson P., Gonzalez M.N., Samuelsson M., Hofvander P. Genome editing in potato via CRISPR-Cas9 ribonucleoprotein delivery. *Physiologia Plantarum*. 2018;164(4):378-384. DOI: 10.1111/pp1.12731

- Barceló M., Wallin A., Medina J.J., Gil-Ariza D.J., López-Casado G., Juárez J., Sánchez-Sevilla J.F., López-Encina C., López-Aranda J.M., Mercado J.A., Pliego-Alfaro F. Isolation and Culture of Strawberry Protoplasts and Field Evaluation of Regenerated Plants. *Scientia Horticulturae*. 2019;256:108-552. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108552
- Barlass M., Skene K.G.M. Studies on the fragmented shoot apex of grapevine: I. The regenerative capacity of leaf primordial fragments *in vitro*. *Journal of Experimental Botany*. 1980;31:483-488. DOI: 10.1093/jxb/31.2.483
- Barlass K.G.V., Skene K.G.M. Clonal propagation through tissue culture. *Australian Grape Grower and Winemaker*. 1979;16:12-13.
- Benson E.E., Danaher J.E., Pimbley I.M., Anderson C.T., Wake J.E., Daley S., Adams L.K. *In vitro* micropropagation of *Primula scotica*: a rare Scottish plant. *Biodiversity and Conservation*. 2000;9:711-726. DOI: 10.1023/A:1008941726419
- Bidabadi S.S., Jain S.M. Cellular, molecular, and physiological aspects of *in vitro* plant regeneration. *Plants*. 2020;9(6):702. DOI: 10.3390/plants9060702
- Blaich R. Recherches sur les cultures de meristemes et d'organes de vigne *in vitro* en vue de la selection et de la conservation de genotypes. *Bulletin de l'O.I.V.* 1985;58(650/651):391-395. [In French]
- Boutillier K., Offringa R., Sharma V.K., Kieft H., Ouellet T., Zhang L., Hattori J., Liu C.M., van Lammeren A.A.M., Miki B.L.A., Custers J.B.M., van Lookeren Campagne M.M. Ectopic expression of BABY BOOM triggers a conversion from vegetative to embryonic growth. *Plant Cell*. 2002;14:1737-1749. DOI: 10.1105/tpc.001941
- Bower D.J. Genetic resources worldwide. *Trends in Biotechnology*. 1989;7(5):111-116. DOI: 10.1016/0167-7799(89)90084-X
- Butenko R.G. Biology of cells of higher plants *in vitro* and biotechnology on their basis. Moscow; 1999. [in Russian] (Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнология на их основе. Москва; 1999).
- Chen Z., Hsiao K.-C., Bornman C.H. Ploidy and division efficiency of petiolar protoplasts of *Brassica napus*. *Hereditas*. 1994;120:41-46. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1994.00041.x
- Chen L., Tong J., Xiao L., Ruan Y., Liu J., Zeng M., Huang H., Wang J.W., Xu L. YUCCA-mediated auxin biogenesis is required for cell fate transition occurring during *de novo* root organogenesis in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*. 2016;67:4273-4284. DOI: 10.1093/jxb/erw213
- Craig W., Gargano D., Scotti N., Nguyen T.T., Lao N.T., Kavanagh T.A., Dix T.A., Cardí T. Direct gene transfer in potato: a comparison of particle bombardment of leaf explants and PEG-mediated transformation of protoplasts. *Plant Cell Reports*. 2005;24:603-611. DOI: 10.1007/s00299-005-0018-0
- Dodueva I.E., Tvorogova V.E., Azarakhsh M., Lebedeva M.A., Lutova L.A. Plant stem cells: unity and diversity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):441-458. [in Russian] (Додуева И.Е., Творогова В.Е., Азарахш М., Лебедева М.А., Лутова Л.А. Стволовые клетки растений: единство и многообразие. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):441-458). DOI: 10.18699/VJ16.172
- Egorov E.A., Piyashenko O.M., Kovalenko A.G., Nosulchak V.A., Nud'ga T.A., Pankin M.I., Petrov V.S., Serpukhovitina K.A., Sundyreva M.A., Talash A.I., Troshin L.P. Anapa Ampelographic collection (Anapskaya Ampelograficheskaya kolleksiya). Krasnodar: NCRRIH & V Rosselkhozacademii; 2009. [In Russian] (Егоров Е.А., Ильяшенко О.М., Коваленко А.Г., Носульчак В.А., Нудьга Т.А., Панкин М.И., Петров В.С., Серпуховитина К.А., Сундырева М.А., Талаш А.И., Трошин Л.П. Анапская Ампелогографическая коллекция. Краснодар: СКЗНИИСиВ Россельхозакадемии; 2009).
- Elmaghrabi A., Ochatt S. Isoenzymes and flow cytometry for the assessment of true-to-typeness of calluses and cell suspensions of barrel medic prior to regeneration. *Plant Cell, Tissue Organ Culture*. 2022;85:31-43. DOI: 10.1007/s11240-005-9046-2
- Forsline P.L. Progress in developing a national program for *Malus* and *Vitis* germplasm maintenance and evaluation in the USA. *Acta Horticulturae*. 1988;224:33-38. DOI: 10.17660/ActaHortic.1988.224.2
- Galzy R. Les possibilities de conservation *in vitro* d'une collection de clones de vignes. *Bulletin de l'O.I.V.* 1985;650-651:377-390. [In French]
- Gancheva M.S., Malovichko Y.V., Polushkevich L.O., Dodueva I.E., Lutova L.A., Plant peptide hormones. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2019;66(2):171-189. DOI: 10.1134/S1021443719010072
- Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Truskinov E.V., Antonova O.Y., Pendinen G.I., Lupysheva J.V., Rogovaya V.V., Shvachko N.A. Strategy for long-term conservation of the gene pool of vegetatively propagated agricultural plants under controlled environmental conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;164:273-285. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Трускинов Э.В., Антонова О.Ю., Пендинен Г.И., Лупышева Ю.В., Роговая В.В., Швачко Н.А. Стратегия долгосрочного сохранения генофонда вегетативно размножаемых сельскохозяйственных растений в контролируемых условиях среды. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2007;164:273-285).
- FAO, 2014. Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rev. ed. Rome: FAO; 2014.
- Gamburg K.Z., Yurieva O.V., Kazanovsky S.G. The application of clonal micropropagation for conservation of rare, endemic and endangered plant species. In: *The IX International Conference «The Biology of plant cells in vitro and biotechnology»: Abstract; 2008 September 8-12; Zvenigorod, Russia*. Moscow; 2008. p.87. [in Russian] (Гамбург К.З., Юрьева О.В., Казановский С.Г. Использование клонального микроразмножения для сохранения редких и эндемичных видов, находящихся под угрозой исчезновения. В кн.: *IX Международная конференция «Биология клеток растений in vitro и биотехнология»: тезисы; 8-12 сентября 2008 г.; Звенигород, Россия*. Москва; 2008. С.86). URL: <https://ippras.ru/upload/files/Abstracts.pdf> [дата обращения: 27.11.2022].
- George E.F., Hall M.A., De Klerk G.-J. (eds). Plant propagation by tissue culture. Vol. 1. The Background. Springer Dordrecht; 2008. 502 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-5005-3
- Golodriga P.Ya., Zlenko V.A., Chekmarev L.A., Butenko R.G., Levenko B.A., Peelin N.M. Guidelines for clonal micropropagation of grapes (Metodicheskiye rekomendatsii po klonalnomu mikrorazmnozheniyu vinograda). Yalta: Magarach; 1986. 56 p. [in Russian] (Голодрига П.Я., Зленко В.А., Чекмарев Л.А., Бутенко Р.Г., Левенко Б.А., Пилин Н.М. Методические рекомендации по клональному микроразмножению винограда. Ялта: Магарач; 1986. 56 с.).
- Grimplet J., Pimentel D., Agudelo-Romero P., Martinez-Zapater J.M., Fortes A.M. The LATERAL ORGAN BOUNDARIES Domain gene family in grapevine: genome-wide characterization and expression analyses during developmental processes and stress responses. *Scientific Reports*. 2017;7(1):15968. DOI: 10.1038/s41598-017-16240-5
- Harding E.W., Tang W., Nichols K.W., Fernandez D.E., Perry S.E. Expression and maintenance of embryogenic potential is enhanced through constitutive expression of *AGAMOUS-Like 15*. *Plant Physiology*. 2003;133:653-663. DOI: 10.1104/pp.103.023499
- Harst-Langenbucher M. Long term storage of *in vitro* cultures of grapevines. Die Langzeit-lagerung von *in vitro* Kulturen der Rebe [dissertation]. 1982.
- Hecht V., Vielle-Calzada J.P., Hartog M.V., Schmidt E.D., Boutillier K., Grossniklaus U., de Vries S.C. The Arabidopsis *Somatic Embryogenesis Receptor Kinase 1* gene is expressed in developing ovules and embryos and enhances embryogenic competence in culture. *Plant Physiology*. 2001;127:803-816. DOI: 10.1104/pp.010324
- Heywood V.H., Iriondo J.M. Plant conservation: old problems, new perspectives. *Biological Conservation*. 2003;113:321-335. DOI: 10.1016/S0006-3207(03)00121-6
- Iacob M., Deloire A., Caspar Th. Conservation au froid de la vigne en culture *in vitro*. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*. 1989;54(2A):455-468. [In French]
- Ikeuchi M., Iwase A., Rymen B., Lambomez A., Kojima M.,

- Takebayashi Y., Heyman J., Watanabe S., Seo M., De Veylder L., Sakakibara H., Sugimoto K. Wounding triggers callus formation via dynamic hormonal and transcriptional changes. *Plant Physiology*. 2017;175:1158-1174. DOI: 10.1104/pp.17.01035
- Initskay E.T., Makarkina M.V. Application of DNA-markers in molecular breeding and genetic studies of grapevine. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):528-536. [in Russian] (Ильницкая Е.Т., Макаркина М.В. Применение ДНК-маркеров в современных селекционно-генетических исследованиях винограда. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):528-536). DOI: 10.18699/VJ16.163
- Iocco P., Franks T., Thomas M.R. Genetic transformation of major wine grape cultivars of *Vitis vinifera* L. *Transgenic Research*. 2001;10:105-112. DOI: 10.1023/A:1008989610340
- Iwase A., Mitsuda N., Koyama T., Hiratsu K., Kojima M., Arai T., Inoue Y., Seki M., Sakakibara H., Sugimoto K., Ohme-Takagi M. The AP2/ERF transcription factor WIND1 controls cell dedifferentiation in *Arabidopsis*. *Current Biology*. 2011;21(6):508-514. DOI: 10.1016/j.cub.2011.02.020
- Jarvis D.I., Mayer L.Y., Klemik H., Guarino L., Smale M., Brown A.H.D., Sadiki M., Sthapit B., Hodgkin T. A training guide for *in situ* conservation on farm. Version 1. Rome: IPGRI; 2000.
- Kashin V.I., Borisova A.A., Prihodko Y.U.N., Surkova O.Y.U., Upadyshev M.T., Metlickaya K.V., Lapinskaya M.P., Tsubera L.V., Litvinenko I.S., Veretennikova N.P. Technological process of obtaining virus-free planting material of fruit and berry crops: Methodological guide (Tekhnologicheskiiy process polucheniya bezvirusnogo posadochnogo materiala plodovykh i yagodnykh kultur: Metodicheskie ukazaniya). Moscow; 2001. [in Russian] (Кашин В.И., Борисова А.А., Приходько Ю.Н., Суркова О.Ю., Упадышев М.Т., Метлицкая К.В., Лапинская М.П., Цубера Л.В., Литвиненко И.С., Веретенникова Н.П. Технологический процесс получения безвирусного посадочного материала плодовых и ягодных культур: методические указания. Москва; 2001).
- Kershengol'ts V.M., Remigailo P.A., Khlebniy E.S. A Seedbank in the Permafrost. *SCIENCE First Hand*. 2012;33(3). Available from: <https://scfh.ru/en/papers/a-seedbank-in-the-permafrost/> [accessed Nov. 15, 2022]. [in Russian] (Кершенголец В.М., Ремигаило П.А., Хлебный Е.С. Банк семян в вечной мерзлоте. *НАУКА из первых рук*. 2011;42(6):6-9). URL: <https://scfh.ru/papers/bank-semyan-v-vechnoy-merzlote> [дата обращения: 15.11.2022].
- Kielkowska A., Adamus A. Peptide growth factor phytosulfokine- $\alpha$  stimulates cell divisions and enhances regeneration from *B. oleracea* var. *capitata* L. protoplast culture. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2019;38:931-944. DOI: 10.1007/s00344-018-9903-y
- Lardon R., Geelen D. Natural variation in plant pluripotency and regeneration. *Plants*. 2020;24(10):1261. DOI: 10.3390/plants9101261
- Lardon R., Wijnker E., Keurentjes J., Geelen D. The genetic framework of shoot regeneration in *Arabidopsis* comprises master regulators and conditional fine-tuning factors. *Communications Biology*. 2020;3(1):549. DOI: 10.1038/s42003-020-01274-9
- Lassoued R., Phillips P.W.B., Macall D.M., Hessel H., Smyth S.J. Expert opinions on the regulation of plant genome editing. *Plant Biotechnology Journal*. 2021;19(6):1104-1109. DOI: 10.1111/pbi.13597
- Leng X., Wei H., Xu X., Ghuge S.A., Jia D., Liu G., Wang Y., Yuan Y. Genome-wide identification and transcript analysis of TCP transcription factors in grapevine. *BMC Genomics*. 2019;20(1):786. DOI: 10.1186/s12864-019-6159-2
- Licausi F., Giorgi F.M., Zenoni S., Osti F., Pezzotti M., Perata P. Genomic and transcriptomic analysis of the AP2/ERF superfamily in *Vitis vinifera*. *BMC Genomics*. 2010;11:719. DOI: 10.1186/1471-2164-11-719
- Liu J., Sheng L., Xu Y., Li J., Yang Z., Huang H., Xu L. *WOX11* and *12* are involved in the first-step cell fate transition during *de novo* root organogenesis in *Arabidopsis*. *Plant Cell*. 2014;26:1081-1093. DOI: 10.1105/tpc.114.122887
- Lotan T., Ohto M., Yee K.M., West M.A., Lo R., Kwong R.W., Yamagishi K., Fischer R.L., Goldberg R.B., Harada J.J. *Arabidopsis* LEAFY COTYLEDON1 is sufficient to induce embryo development in vegetative cells. *Cell*. 1998;93:1195-1205. DOI: 10.1016/S0092-8674(00)81463-4
- Lukaszewska E., Virden R., Sliwinski E. Hormonal control of endoreduplication in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings growing *in vitro*. *Plant Biology*. 2012;14:216-222. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2011.00477.x
- Lup S.D., Tian X., Xu J., Perez-Perez J.M. Wound signaling of regenerative cell reprogramming. *Plant Science*. 2016;250:178-187. DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.06.012.
- Magnien E., Dalschaert X., Faraoni-Sciamanna P. Transmission of a cytological heterogeneity from the leaf to the protoplasts in culture. *Plant Science Letters*. 1982;25:291-303. DOI: 10.1016/0304-4211(82)90159-6
- Marchenko A.O. Model of processes of reproduction of plants. In: *The IX International Conference «The Biology of plant cells in vitro and biotechnology»: Abstract; 2008 September 8-12; Zvenigorod, Russia*. Moscow; 2008. p.243. [in Russian] (Марченко А.О. Модель процессов репродукции растений. В кн.: IX Международная конференция «Биология клеток растений in vitro и биотехнология»: тезисы; 8-12 сентября 2008 г.; Звенигород, Россия. Москва; 2008. С.242). URL: <https://ippras.ru/upload/files/Abstracts.pdf> [дата обращения: 27.11.2022].
- Marchenko A.O., Golodriga P.L., Klimenko Z.P., Piven K.M. Somatic embryoidogenesis in grape tissue culture. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 1987;19(4):408-411. [in Russian] (Марченко А.О., Голодрига П.Л., Клименко З.П., Пивень К.М. Соматический эмбриоидогенез в культуре ткани винограда. *Физиология и биохимия культурных растений*. 1987;19(4):408-411).
- Masani M.Y.A., Noll G., Parveez G.K.A., Sambanthamurthi R., Prüfer D. Regeneration of viable oil palm plants from protoplasts by optimizing media components, growth regulators and cultivation procedures. *Plant Science*. 2013;210:118-127. DOI: 10.1016/j.plantsci.2013.05.021
- Mashkina O.S., Tabatskaya T.M., Morkovina S.S., Panyavina E.A. Growing seedlings white poplar (*Populus alba* L.) based on the collection *in vitro* and evaluation of its cost. *Forestry Magazine*. 2016;6(1):28-44. [in Russian] (Машкина О.С., Табацкая Т.М., Морковина С.С., Панывина Е.А. Выращивание посадочного материала тополя белого (*Populus alba* L.) на основе коллекции *in vitro* и оценка его себестоимости. *Лесотехнический журнал*. 2016;6(1):28-44). DOI: 10.12737/18725
- Medvedeva N.I., Polivara N.V., Troshin L.P. Peculiarities of microclonal propagation of introducers and grape clones. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2008;(40):137-155. [in Russian] (Медведева Н.И., Поливарова Н.В., Трошин Л.П. Особенности микроклонального размножения интродуцентов и клонов винограда. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2008;(40):137-155).
- Mezzetti B., Pandolfini T., Navacchi O., Landi L. Genetic transformation of *Vitis vinifera* via organogenesis. *BMC Biotechnology*. 2002;2:18. DOI: 10.1186/1472-6750-2-18
- Molkanova O.I., Konovalova T.Y., Meleshuk E.V., Orlova N.D., Koroleva O.V., Akmetova L.R., Shirnina I.V. Creation of *in vitro* gene bank of rare and valuable species and cultivars of MBG RAS. In: *Botanical gardens in the XXI century: biodiversity conservation, development strategy and innovative solutions: collection of scientific materials of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 20th anniversary of the Botanical Garden «BelSU»*. Belgorod; 2019. p.178-181. [in Russian] (Молканова О.И., Коновалова Т.Ю., Мелешук Е.В., Орлова Н.Д., Королева О.В., Ахметова Л.Р., Ширнина И.В. Создание генетического банка *in vitro* редких и ценных видов и сортов ГБС РАН. В кн.: *Ботанические сады в XXI веке: сохранение биоразнообразия, стратегия развития и инновационные решения: сборник научных материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 20-летию образования Ботанического сада НИУ «БелГУ»*. Белгород; 2019. С.178-181). URL: <https://botanicgarden.bsu.edu.ru/media/>

- uploads/2020/02/botanicheskie-sady\_19.pdf [дата обращения: 27.11.2022].
- Mozgova I., Munoz-Viana R., Hennig L. PRC2 represses hormone-induced somatic embryogenesis in vegetative tissue of *Arabidopsis thaliana*. *PLoS Genetics*. 2017;13(1):e1006562. DOI: 10.1371/journal.pgen.1006562
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Naegele RP, Londo JP, Zou C, Cousins P. Identification of SNPs associated with magnesium and sodium uptake and the effect of their accumulation on micro and macro nutrient levels in *Vitis vinifera*. *PeerJ*. 2021;9:e10773. DOI: 10.7717/peerj.10773
- Negrul A.M. Origin and classification of cultured grapevine. In: A.M. Frolov-Bagreyev (ed.) *The ampelography of the USSR. Vol. 1*. Moscow: Pischepromizdat; 1946. p.159-216. [in Russian] (Негрюль А.М. Происхождение культурного винограда и его классификация. В кн.: *Ампелография СССР* / под ред. А.М. Фролова-Багреева Москва: Пищепромиздат; 1946. Т. 1. С.159-216).
- Nosulchak V.A., Smurygin A.S., Troshin L.P. Collection, conservation and analysis of the gene pool of Russian grapes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2007;161:20-29. [in Russian] (Носульчак В.А., Смурыгин А.С., Трошин Л.П. Сбор, сохранение и анализ генофонда винограда России. *Труды по прикладной ботанике и селекции*. 2007;161:20-29).
- Ochatt S.J., Mousset-Déclas C., Rancillac M. Fertile pea plants regenerate from protoplasts when calluses have not undergone endoreduplication. *Plant Science*. 2000;156(2):177-183. DOI: 10.1016/S0168-9452(00)00250-8
- Orlikowska T. Effect of *in vitro* storage at 4°C on survival and proliferation of apple rootstocks. *Acta Horticulturae*. 1991;289:251-254. DOI: 10.17660/ActaHortic.1991.289.66
- Klimenko V.P., Pavlova I.A. Collection of grapevine varieties, hybrids and clones under *in vitro* conditions. In: *Prospects for the Development of Viticulture and Winemaking in CIS Countries: Abstracts of reports and messages of the International scientific conference dedicated to the 180<sup>th</sup> anniversary of the NIV&W "Magarach"; 2008 October 28-30; Yalta, Crimea; Yalta; 2008. Vol. 1. p.80-81. [in Russian] (Клименко В.П., Павлова И.А. Коллекция сортов, гибридов и клонов винограда в условиях *in vitro*. В кн.: *Перспективы развития виноградарства и виноделия в странах СНГ: Международная научно-практическая конференция, посвященная 180-летию Национального института винограда и вина «Магарач»: тезисы докладов и сообщений; 28-30 октября 2008 г.; Ялта, Крым. Ялта; 2008. Т. 1. С.80-81).**
- Pavlova I.A., Klimenko V.P. Creation and prospects of use of grape varieties and hybrids collection *in vitro*. In: *Actual problems of applied genetics, breeding and biotechnology of plants: Abstracts of the International Scientific Conference dedicated to the 200th anniversary of Charles Darwin and the 200th anniversary of the Nikitsky Botanical Garden; 2009 November 03-06; Yalta, Crimea. Yalta; 2009. p.149. [in Russian] (Павлова И.А., Клименко В.П. Создание и перспективы использования коллекции сортов и гибридов винограда *in vitro*. В кн.: *Актуальные проблемы прикладной генетики, селекции и биотехнологии растений: тезисы Международной научной конференции, посвященной 200-летию Ч. Дарвина и 200-летию Никитского ботанического сада; 03-06 ноября 2009 г.; Ялта, Крым. Ялта; 2009. С.149).**
- Plekhanova M.N. Collections of genetic resources of fruit and berry crops: structure and problems of conservation in living form. In: *Proceedings of the XXI Michurin readings; 2002 October 28-30; Michurinsk, Russia. Michurinsk; 2002. p.4. [in Russian] (Плеханова М.Н. Коллекция генетических ресурсов плодовых и ягодных культур: структура и проблемы сохранения в живом виде. В кн.: *Материалы XXI Мичуринских чтений; 28-30 октября 2002 г.; Мичуринск, Россия. Мичуринск; 2002. С.4).**
- Prange A.N.S., Bartsch M., Serek M., Winkelmann T. Regeneration of different *Cyclamen* species via somatic embryogenesis from callus, suspension cultures and protoplasts. *Scientia Horticulturae*. 2010;125(3):442-450. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.04.018
- Rai M.K., Shekhawat N.S. Recent advances in genetic engineering for improvement of fruit crops. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2014;116:1-15. DOI: 10.1007/s11240-013-0389-9
- Rajasekaran K., Mullins M.G. Organogenesis in internode explants of grapevines. *Vitis*. 1981;20(3):218-227. DOI: 10.5073/vitis.1981.20.218-227
- Reed B.M., Chang Y. Medium- and long- term storage of *in vitro* cultures of temperate fruit and nut crops. In: M.K. Razdan, E.C. Cocking (eds). *Conservation of Plant Genetic Resources In Vitro. Vol. 1: General Aspects*. U.S.A.: Science Publishers, Inc.; 1997. p.67-105.
- Reed K.M., Bargmann B.O.R. Protoplast regeneration and its use in new plant breeding technologies. *Frontiers in Genome Editing*. 2021;3(3):734951. DOI: 10.3389/fgeed.2021.734951
- Ren C., Guo Y., Kong J., Lecourieux F., Dai Z., Li S., Liang Z. Knockout of *VvCCD8* gene in grapevine affects shoot branching. *BMC Plant Biology*. 2020;20(1):47. DOI: 10.1186/s12870-020-2263-3
- Revin P. Speech at XVI International Botanical Congress. *Information Bulletin. Council of Botanical Gardens of Russia and Branch of International Plant Protection Council*. 2000;11:38-47. [in Russian] (Ревин П. Речь на XVI Международном ботаническом конгрессе. *Информационный бюллетень Совета ботанических садов России и Отделения Международного совета по охране растений*. 2000;11:38-47).
- Rymen B., Kawamura A., Lambolez A., Inagaki S., Takebayashi A., Iwase A., Sakamoto Y., Sko K., Favero D.S., Ikeuchi M., Suzuki T., Seki M., Kakatani T., Roudier F., Sugimoto K. Histone acetylation orchestrates wound-induced transcriptional activation and cellular reprogramming in *Arabidopsis*. *Communications Biology*. 2019;2:404. DOI: 10.1038/s42003-019-0646-5
- Sala F., Magnien E., Galli M.G., Dalschaert X., Redrali-Noy G., Spadari S. DNA repair synthesis in plant protoplasts is aphidicolin-resistant. *FEBS Letters*. 1982;138(2):213-217. DOI: 10.1016/0014-5793(82)80444-4
- Saporta R., Pedro-Galan S., Domenech G., Carmen M. Attempts at grapevine (*Vitis vinifera* L.) breeding through genetic transformation: the main limiting factors. *Vitis*. 2016;55:173-186. DOI: 10.5073/vitis.2016.55.173-186
- Sauer N.J., Narváez-Vásquez J., Mozoruk J., Miller R.B., Warburg Z.J., Woodward M.J., Mihiret Y.A., Lincoln T.A., Segami R.E., Sanders S.L., Walker K.A., Beetham P.R., Schöpke C.R., Gocal G.F.W. Oligonucleotide-mediated genome editing provides precision and function to engineered nucleases and antibiotics in plants. *Plant Physiology*. 2016;170(4):1917-1928. DOI: 10.1104/pp.15.01696
- Shan Q., Wang Y., Li J., Zhang Y., Chen K., Liang Z., Zhang K., Liu J., Xi J.J., Qiu J.-L., Gao C. Targeted genome modification of crop plants using a CRISPR-Cas system. *Nature Biotechnology*. 2013;31:686-688. DOI: 10.1038/nbt.2650
- Sheng X., Zhao Z., Yu H., Wang J., Xiaohui Z., Gu H. Protoplast Isolation and plant regeneration of different doubled haploid lines of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2021;107:513-520. DOI: 10.1007/s11240-011-0002-z
- Shi Z., Halaly-Basha T, Zheng C, Sharabi-Schwager M, Wang C, Galbraith DW, Ophir R, Pang X, Or E. Identification of potential post-ethylene events in the signaling cascade induced by stimuli of bud dormancy release in grapevine. *Plant Journal*. 2020;104(5):1251-1268. DOI: 10.1111/tpj.14997
- Stamp J.A., Colby S.M., Meredith C.P. Direct shoot organogenesis and plant regeneration from leaves of grape (*Vitis* spp.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 1990;22:127-133. DOI: 10.1007/BF00043688
- Stone S.L., Kwong L.W., Yee K.M., Pelletier J., Lepiniec L., Fischer R.L., Goldberg R.B., Harada J.J. *LEAFY COTYLEDON2* encodes a B3 domain transcription factor that induces embryo development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2001;98(20):11806-11811. DOI: 10.1073/pnas.201413498
- Thakare D., Tang W., Hill K., Perry S.E. The MADS-domain transcriptional regulator AGAMOUS-LIKE15 promotes somatic embryo development in *Arabidopsis* and soybean. *Plant*

- Physiology*. 2008;146:1663-1672. DOI: 10.1104/pp.108.115832
- Tomiczak K., Mikula A., Sliwinska E., Rybczyński J.J. Autotetraploid plant regeneration by indirect somatic embryogenesis from leaf mesophyll protoplasts of diploid *Gentiana Decumbens* L.f. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*. 2015;51:350-359. DOI: 10.1007/s11627-015-9674-0
- Tsuwamoto R., Yokoi S., Takahata Y. *Arabidopsis* EMBRYOMAKER encoding an AP2 domain transcription factor plays a key role in developmental change from vegetative to embryonic phase. *Plant Molecular Biology*. 2010;73:481-492. DOI: 10.1007/s11103-010-9634-3
- Tu M., Fang J., Zhao R., Liu X., Yin W., Wang Y., Wang X., Wang X., Fang Y. CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of *VvbZIP36* promotes anthocyanin accumulation in grapevine (*Vitis vinifera*). *Horticulture Research*. 2022;19:20-22. DOI: 10.1093/hr/uhac022
- Tvorogova V.E. *WOX* and *PIN* genes in the regulation of somatic embryogenesis in *Medicago truncatula* [dissertation]. St. Petersburg: VIR; 2016. [in Russian] (Творогова В.Е. Гены *WOX* и *PIN* в регуляции соматического эмбриогенеза у *Medicago truncatula*: дис. ... канд. биол. наук. Санкт-Петербург: ВИР; 2016).
- Ukhatova Y.V., Gavrilenko T.A. Cryoconservation methods for vegetatively propagated crops. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2018;1(1):52-63. [in Russian] (Ухатова Ю.В., Гавриленко Т.А. Методы криоконсервации вегетативно размножаемых культурных растений. *Биотехнология и селекция растений*. 2018;1(1):52-63). DOI: 10.30901/2658-6266-2018-1-52-63
- Vechyorco N.A., Romadanova N.V., Jumabekov E.V. Preservation of biodiversity of apple – tree through tissue culture. In: *The IX International Conference «The Biology of plant cells in vitro and biotechnology»: Abstract; 2008 September 8-12; Zvenigorod, Russia*. Moscow; 2008. p.71. [in Russian] (Вечёрко Н.А., Ромаданова Н.В., Жумабеков Е.В. Сохранение биоразнообразия яблони методом культуры тканей. В кн.: *IX Международная конференция «Биология клеток растений in vitro и биотехнология»: тезисы; 8-12 сентября 2008 г.; Звенигород, Россия*. Москва; 2008. С.70).
- Vetchinkina E.M., Malaeva E.V., Mamaeva N.A., Zinina J.M., Konovalova L.N., Korotkov O.I., Molkanova O.I. Application of biotechnological methods for conservation of rare and valuable species plants. In: *The IX International Conference «The Biology of plant cells in vitro and biotechnology»: Abstract; 2008 September 8-12; Zvenigorod, Russia*. Moscow; 2008. p.67. [in Russian] (Ветчинкина Е.М., Малаева Е.В., Мамаева Н.А., Зинина Ю.М., Коновалова Л.Н., Коротков О.И., Молканова О.И. Использование биотехнологических методов для сохранения генофонда редких и ценных видов растений. В кн.: *IX Международная конференция «Биология клеток растений in vitro и биотехнология»: тезисы; 8-12 сентября 2008 г.; Звенигород, Россия*. Москва; 2008. С.66).
- Vetchinkina E.M., Molkanova O.I. Using of embryo culture for *in vitro* plant gene banks creation. In: *The IX International Conference «The Biology of plant cells in vitro and biotechnology»: Abstract; 2008 September 8-12; Zvenigorod, Russia*. Moscow; 2008. p.69. [in Russian] (Ветчинкина Е.М., Молканова О.И. Использование эмбриокультуры для создания генетических банков растений *in vitro*. В кн.: *IX Международная конференция «Биология клеток растений in vitro и биотехнология»: тезисы; 8-12 сентября 2008 г.; Звенигород, Россия*. Москва; 2008. С.68).
- Vysotskaya O.N. Long-term preservation *in vitro* collection of strawberry plants (Dlitelnoye sokhraneniye *in vitro* kolektsii rasteniy zemlyaniki). *Plant Physiology*. 1994;41(6):935-941. [in Russian] (Высоцкая О.Н. Длительное сохранение *in vitro* коллекции растений земляники. *Физиология растений*. 1994;41(6):935-941).
- Vysotsky V.A., Vysotskaya O.N. *In vitro* culture for long-term storage of valuable genotypes (Kultura *in vitro* dlya dlitel'nogo khraneniya tsennykh genotipov). In: *Proceedings of the XXI Michurin readings; 2002 October 28-30; Michurinsk, Russia*. Michurinsk; 2002. p.12-13. [in Russian] (Высоцкий В.А., Высоцкая О.Н. Культура *in vitro* для длительного хранения ценных генотипов. В кн.: *Материалы XXI Мичуринских чтений; 28-30 октября 2002 г.; Мичуринск, Россия*. Мичуринск; 2002. С.12-13).
- Wang C., He R., Lu J., Zhang Y. Selection and regeneration of *Vitis vinifera* Chardonnay hydroxyproline-resistant calli. *Protoplasma*. 2018;255(5):1413-1422. DOI: 10.1007/s00709-018-1240-2
- Woo J.W., Kim J., Kwon S.I., Corvalán C., Cho S.W., Kim H., Kim S.-G., Kim S.-T., Choe S., Kim J.-S. DNA-free genome editing in plants with preassembled CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins. *Natural Biotechnology*. 2016;33:1162-1164. DOI: 10.1038/nbt.3389
- Xiao J., Wagner D. Polycomb repression in the regulation of growth and development in *Arabidopsis*. *Current Opinion in Plant Biology*. 2015;23:15-24. DOI: 10.1016/j.pbi.2014.10.003
- Xu L., Huang H. Genetic and epigenetic controls of plant regeneration. Chapter One. In: B. Galliot (ed.) *Current Topics in Developmental Biology. Vol. 108. Mechanisms of Regeneration*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press; 2014. p.1-33. DOI: 10.1016/B978-0-12-391498-9.00009-7
- Yeremin G.V., Tsarenko V.P., Plekhanova M.N. In gardens and nurseries of USA. *Gardening and Viticulture*. 1991;1:42-44. [in Russian] (Ерёмин Г.В., Плеханова М.Н., Царенко В.П. В садах и питомниках США. *Садоводство и виноградарство*. 1991;1:42-44).
- Zelenyanskaya N.N., Jaburiya L.V., Tesliuk N.I., Podust N.V., Gogulinskaya E.I., Methods of grape collection material *in vitro* storage. Odesa: National Scientific Centre «V.E. Tairov Institute of Viticulture and Winemaking»; 2016. [in Ukrainian] (Зеленянская Н.Н., Джабурия Л.В., Теслиук Н.И., Подуст Н.В., Гогулinskaya Е.И. Методы хранения коллекционного материала винограда в культуре *in vitro*. Одесса: Национальный научный центр «Институт виноградарства и виноделия им. В.Е. Таирова»; 2016).
- Zhang Y., Malzahn A.A., Sretenovic S., Qi Y. The emerging and uncultivated potential of CRISPR technology in plant science. *Nature Plants*. 2019;5:778-794. DOI: 10.1038/s41477-019-0461-5
- Zhuchenko A.A. Adaptive potential of cultivated plants. Chisinau: stiinta; 1988: p.238-253. [in Russian] (Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений. Кишинев: Штиинца; 1988: С.238-253).

### Информация об авторах

**Татьяна Владимировна Коваленко**, магистрант направления «Генетика и генетические технологии», Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», 354340 Россия, Краснодарский край, поселок городского типа Сириус, Олимпийский пр-т, 1., kovalenko.tv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6915-8760>

**Надежда Геннадьевна Тихонова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела генетических ресурсов плодовых и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44; старший научный сотрудник направления «Биология и биотехнология растений», Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», 354340 Россия, Краснодарский край, поселок городского типа Сириус, Олимпийский пр-т, 1. n.g.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

---

**Елена Константиновна Хлесткина**, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; руководитель направления «Биология и биотехнология растений», Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», 354340 Россия, Краснодарский край, поселок городского типа Сириус, Олимпийский пр-т., 1, [director@vir.nw.ru](mailto:director@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Юлия Васильевна Ухатова**, кандидат биологических наук, заместитель директора по научно-организационной работе, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; старший научный сотрудник направления «Биология и биотехнология растений» Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус», 354340 Россия, Краснодарский край, поселок городского типа Сириус, Олимпийский пр-т., 1, [y.ukhatova@vir.nw.ru](mailto:y.ukhatova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

### ***Information about the authors***

**Tatiana V. Kovalenko**, Master's student in "Genetics and Genetic Technologies", Sirius University of Science and Technology, 1, Olympiisky Avenue, Sirius Urban-Type Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Region, 354340, Russia. [kovalenko.tv@talantiuspeh.ru](mailto:kovalenko.tv@talantiuspeh.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6915-8760>

**Nadezhda G. Tikhonova**, Cand.Sci. (Biology), Senior Researcher, Department of Genetic Resources of Fruit and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Senior Researcher, Sirius University of Science and Technology, 1 Olympiisky Avenue, Sirius Urban-Type Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Region, 354340, Russia, [n.g.tikhonova@vir.nw.ru](mailto:n.g.tikhonova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

**Elena K. Khlestkina**, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Head, Plant Biology and Biotechnology Department, Sirius University of Science and Technology, 1, Olympiisky Avenue, Sirius Urban-Type Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Region, 354340, Russia, [director@vir.nw.ru](mailto:director@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Yulia V. Ukhatova**, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Scientific and Organizational Work, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Senior Researcher, Sirius University of Science and Technology, 1, Olympiisky Avenue, Sirius Urban-Type Settlement, Sirius Federal Territory, Krasnodar Region, 354340 Russia, [y.ukhatova@vir.nw.ru](mailto:y.ukhatova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

**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 23.11.2022; одобрена после рецензирования 12.12.2022; принята к публикации 25.12.2022.

The article was submitted on 23.11.2022; approved after reviewing on 12.12.2022; accepted for publication on 25.12.2022.

Мини-обзорная статья  
УДК 631.52:631.575:575.22  
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-02



## Возможности использования биотехнологических методов в селекции овощных культур в лаборатории селекции и клеточных технологий ВИР

А. Б. Курина, А. М. Артемьева

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

**Автор, ответственный за переписку:** Анастасия Борисовна Курина, a.kurina@vir.nw.ru

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области клеточных технологий растений способствуют успешному развитию селекции сельскохозяйственных культур, позволяя создавать новые формы растений в 2-4 раза быстрее по сравнению с традиционными методами селекции. Для получения чистых линий у большинства овощных культур требуется около 5-7 циклов самоопыления. В результате создание нового сорта/гибрида занимает в среднем более 10-12 лет. Для успешного создания сорта или гибрида необходим подбор родительских пар в виде инбредных линий. Коллекция овощных и бахчевых культур ВИР насчитывает 52 889 образцов, включает представителей 29 семейств, 145 родов, 610 видов. Использование биотехнологических методов является актуальным направлением для ускорения селекции овощных культур. В связи с актуальностью включения клеточных технологий в селекционные программы отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур ВИР, в 2022 году создана лаборатория селекции и клеточных технологий. Целью исследований новой лаборатории является ускоренное создание исходного материала и новых сортов или гибридов путем сочетания традиционных методов селекции и клеточных технологий. Объектами исследования послужат культурные формы и дикорастущие родичи видов: капуста огородная *Brassica oleracea* L., репа *Brassica rapa* L., салат *Lactuca* L., томат *Lycopersicon* Mill и овощная сахарная кукуруза *Zea mays* var. *saccharata* Sturt. В данном обзоре мы рассматриваем основные результаты селекции капусты, томата и салата, полученные с применением клеточных технологий. Несмотря на достигнутые успехи, в данной области существует ряд проблем. Отсутствие стандартизированных, эффективных и воспроизводимых протоколов методов *in vitro* часто препятствует их практическому использованию. Задачи, стоящие перед лабораторией по созданию исходного селекционного материала и новых сортов и гибридов с помощью как традиционных методов, так и клеточных технологий, актуальны и соответствуют мировому уровню.

**Ключевые слова:** коллекция, клеточные технологии, лаборатория, *in vitro*

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану НИР по теме FGEM-2022-0012 «Клеточные технологии для расширения селекционного потенциала культур овощного направления использования».

**Для цитирования:** Курина А.Б., Артемьева А.М. Возможности использования биотехнологических методов в селекции овощных культур в лаборатории селекции и клеточных технологий ВИР. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):55-64. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-02

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.

© Курина А.Б., Артемьева А.М., 2022

## Mini-review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o2

## Possibilities of biotechnological methods in breeding of vegetable crops at the VIR Laboratory of Breeding and Cell Technologies

Anastasiya B. Kurina, Anna M. Artemyeva

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

**Corresponding author:** Anastasiya B. Kurina, a.kurina@vir.nw.ru

Basic and applied scientific research in plant cell technologies contribute to the successful development of agricultural plant breeding, which allows the creation of new forms of plants 2-4 times faster than by traditional breeding methods. To obtain inbred lines of most vegetable crops, about 5-7 cycles of self-pollination are required. As a result, the creation of a new cultivar/hybrid takes more than 10-12 years on an average. To successfully create a variety or hybrid, it is necessary to select parental pairs in the form of inbred lines. The VIR collection of vegetables and cucurbit crops includes 52,889 accessions, representatives of 29 families, 145 genera, and 610 species. The use of biotechnological methods is an important direction for accelerating the breeding of vegetable crops. Due to the relevance of introducing cell technologies into the breeding programs of the VIR Department of Genetic Resources of Vegetable and Cucurbit Crops, a Laboratory of Breeding and Cell Technologies was set up in 2022. The goal of the research to be performed at the new laboratory is to accelerate the creation of source material, cultivars and hybrids by combining traditional breeding methods and cell technologies. The objects of the study include cultivated forms and wild relatives of cabbage *Brassica oleracea* L., turnip *Brassica rapa* L., lettuce *Lactuca* L., tomato *Lycopersicon* Mill and vegetable sweet corn *Zea mays* var. *saccharata* Sturt. In the present review, we consider the main results of breeding cabbage, tomato, and lettuce which have been obtained through applying cell technologies. Despite the progress obtained, there are still several problems in this area. The lack of standardized, efficient and reproducible protocols for *in vitro* methods often hinders their practical use. The tasks facing the laboratory in creating the initial breeding material and new cultivars and hybrids with the use of both conventional methods and cell technologies are relevant and correspond to the world level.

**Key words:** collection, cell technology, laboratory, *in vitro*

**Acknowledgments:** The article was prepared as part of the Government Assignment to VIR in accordance with the R&D Thematic Plan, Topic FGEM-2022-0012 “Cell technologies for expanding the breeding potential of vegetable crops”.

**For citation:** Kurina A.B., Artemyeva A.M. Possibilities of biotechnological methods in breeding of vegetable crops in the VIR laboratory of breeding and cell technologies. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):55-64. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-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 authors, and their employers.

© Kurina A.B., Artemyeva A.M., 2022

## Введение

Создание исходного материала – обязательный начальный этап любых селекционных программ. Традиционными способами расширения генетического разнообразия в основном являются внутривидовая и отдаленная гибридизация. Для получения чистых линий у большинства овощных культур требуется около 5-7 циклов самоопыления. В результате создание нового сорта/гибрида занимает в среднем более 10-12 лет. Для успешного создания селекционного достижения необходим подбор родительских пар в виде инбредных линий.

В мировом сортименте овощных культур преобладают гибриды  $F_1$ , позволяющие получать более высокие урожаи и качество продукции благодаря явлению гетерозиса при сочетании генов обоих родителей. Эта методика в ее классическом варианте требует получения чистых линий или инбредных популяций (полученных путем самоопыления растений) для обеспечения стабильности нового генотипа. Классическая селекция проводится в несколько этапов: скрещивание исходных родительских пар с целью расширения генетической изменчивости; отбор рекомбинантных генотипов для получения гомозиготных линий с признаками, представляющими агрономический интерес; проведение специальных скрещиваний для определения комбинационной способности; оценка качества и урожайности, стабильности гибридов в производственных посевах. Такая продолжительность селекционного процесса вызывает в свою очередь необходимость разработки альтернатив для сокращения времени получения гомозиготных генотипов.

Достижения в области культивирования клеток, тканей и органов в системе *in vitro* привели к разработке принципиально новых технологий, направленных на создание улучшенных генотипов сельскохозяйственных растений, обладающих высоким потенциалом адаптации к стрессовым факторам внешней среды при сохранении или повышении их продуктивности (Spiridovich, 2015).

В селекции растений используют следующие клеточные технологии: оплодотворение *in vitro* (преодоление прогамной несовместимости); эмбриокультура (преодоление постгамной несовместимости); получение гаплоидных растений путем андрогенеза и гиногенеза; индукция соматональных вариантов; клеточная и тканевая селекция на устойчивость к стрессам; культура протопластов и соматическая гибридизация (Butenko, 1999; Verpoorte, 2007; Pivovarov et al., 2011).

В настоящее время коллекция овощных и бахчевых культур ВИР насчитывает 52 889 образцов, в том числе 39 469 образцов в основном каталоге, 13 420 образцов во временном каталоге, включает представителей 29 семейств (49 094 образцов), 145 родов, 610 видов. Коллекция включает представителей преимущественно восьми семейств: тыквенные Cucurbitaceae Juss., пасленовые Solanaceae Juss., капустные Brassicaceae Burnett, сельдерейные Apiaceae Lindl., амарантовые Amaranthaceae Juss.,

луковые Amaryllidaceae J.St.-Hil., астровые Asteraceae Dumort., яснотковые Lamiaceae Martinov (Artemyeva, 2022).

Основные исследования направлены на расширение генетического разнообразия коллекции: сбор диких видов и местных форм с высокой степенью устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам и с ценным биохимическим составом; привлечение в коллекцию недостающих в ней звеньев эволюционных рядов овощных культур от предковой формы до современных сортов и линий; интродукция новых для России культур и типов сортов. Важное значение имеет привлечение лучших селекционных достижений мирового уровня, преимущественно по инновационным направлениям селекции, а именно, по созданию генетической коллекции, включающей мутантные линии, инбредные линии, самонесовместимые линии, линии с ЦМС (Artemyeva, 2022).

Использование биотехнологических методов является актуальным направлением для ускорения селекции овощных культур. В связи с актуальностью введения клеточных технологий в селекционные программы отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова, в 2022 году создана лаборатория селекции и клеточных технологий.

Целью исследований новой лаборатории является ускоренное создание исходного материала, а также новых сортов и гибридов путем сочетания традиционных методов селекции и клеточных технологий.

Объектами исследования послужат культуры и дикорастущие родичи видов: капуста огородная *Brassica oleracea* L., репа *Brassica rapa* L., салат *Lactuca* L., томат *Lycopersicon* Mill. и овощная сахарная кукуруза *Zea mays* var. *saccharata* Sturt. Основными задачами лаборатории являются: создание дигаплоидных линий (удвоенных гаплоидов) капустных культур и томата для получения гомозиготных линий с высоким накоплением пигментов – хлорофиллов, каротиноидов, антоцианов – и устойчивых к фитофторозу (томат); создание исходного материала для селекции культурного салата с устойчивостью к основным болезням посредством отдаленной гибридизации с использованием биотехнологических методов. В рамках новой лаборатории будут проведены работы:

- 1) по совершенствованию метода доставки в яйцеклетку компонентов CRISPR/Cas-системы через пыльцевые зерна гаплоиндуктора кукурузы;

- 2) мониторинг генов-маркеров *opaque2* у кукурузы и их динамика в процессе селекции на высокобелковость в отдаленных гибридах кукурузы с теосинте;

- 3) выявление изогенных хромосом кукурузы с интрогрессией чужеродных генов в многопочатковых линиях  $BC_4$  отдаленных гибридов с теосинте методом FISH/GISH.

В настоящем мини-обзоре кратко представлены

основные достижения, полученные с применением клеточных технологий в области селекции капусты, томата, салата и кукурузы. Особое внимание уделено тем биотехнологическим методам, которые будут использованы в лаборатории селекции и клеточных технологий ВИР.

### Капустные культуры (*Brassica L.*)

В настоящее время актуальным направлением селекционной работы с культурами семейства Brassicaceae является разработка инновационных методов создания гибридов  $F_1$ , сочетающих высокую продуктивность с ценным биохимическим составом и устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессорам. Успех и результативность селекции зависят от наличия исходного материала различного эколого-географического происхождения, отличающегося высоким адаптационным потенциалом и широкой генетической изменчивостью. Это возможно достичь за счет использования генофонда капустных культур мировой коллекции ВИР. Необходимо отметить, что исходный материал для селекции должен быть однородным по селективируемым признакам, генетически стабильным. Эта проблема может быть решена путем внедрения в селекционную практику усовершенствованных методов клеточных технологий *in vitro*.

Одной из самых востребованных технологий для ускорения процесса получения гибридов  $F_1$  капустных культур является производство линий дигаплоидов в культуре изолированных микроспор (Domblides et al., 2018; Djatchouk et al., 2019; Dong et al., 2021). Данная технология ускоряет получение генетически стабильных линий, позволяет сочетать различные признаки в одном генотипе и облегчает поиск редких признаков, контролируемых рецессивными аллелями генов (Ferrie, Caswell, 2011). Наибольший успех в получении удвоенных гаплоидов через культуру микроспор достигнут у рапса (*Brassica napus L.*). Эффективность технологии получения дигаплоидов у других представителей рода *Brassica* остается по-прежнему низкой (Shmykova et al., 2015; Dong et al., 2021). Отмечается, что микроспоры генотипически различающихся образцов *Brassica oleracea*, при их культивировании *in vitro*, в меньшей степени способны к эмбриогенезу, чем таковые *B. napus* и *B. rapa* (Winarto, Teixeira da Silva, 2011; Gu et al., 2014; Shmykova et al., 2015). Среди разновидностей *B. oleracea* частота эмбриогенеза в культуре микроспор наиболее высока у капусты брокколи (*B. oleracea var. italica* Plenck.) (Lemonnier-Le Penhuizic et al., 2001), капусты брюссельской (*B. oleracea var. gemmifera* (DC.) Zenker) (Ockendon, Sutherland, 1987) и капусты цветной (*B. oleracea var. botrytis L.*) (Gu et al., 2014), в то время как у капусты белокочанной (*B. oleracea var. capitata L.*) частота эмбриогенеза в целом ниже (Rudolf et al., 1999; Bhatia et al., 2017). Высокая гено-

тип-специфичность и низкая частота эмбриогенеза селекционно ценных образцов является одной из главных проблем применяемых технологий производства линий дигаплоидов растений рода *Brassica* (Olmedilla et al., 2010). Повышение частоты эмбриогенеза капустных культур возможно при подборе оптимальных условий культивации, например состава среды (Bhatia et al., 2017).

У эмбриоидов, полученных в культуре микроспор у большинства генотипически различающихся образцов *Brassica*, наблюдается низкая способность к прорастанию, а также не прямое прорастание с образованием адвентивных побегов или вторичный эмбриогенез (Dong et al., 2021). Кроме того, удвоение числа хромосом у полученных гаплоидов спонтанно происходит лишь у части растений. Наибольшая частота спонтанного удвоения хромосом наблюдается у растений *B. rapa* (Takahashi et al., 2012; Lee et al., 2014), и разновидностей *B. oleracea* (брокколи, кольраби) (Dias, 2003; Yuan et al., 2015). Повышение частоты регенерации и формирование проростков из эмбриоидов без промежуточных стадий, а также повышение частоты спонтанной диплоидизации могло бы обеспечить производство большего числа дигаплоидов с минимальными усилиями и техническими ресурсами, что в свою очередь облегчило бы создание гибридов  $F_1$  капустных культур.

Первый протокол производства дигаплоидов в культуре изолированных микроспор был разработан для рапса (*B. napus*) (Lichter, 1982). Затем данный протокол с небольшими модификациями стали использовать для получения дигаплоидов у других растений рода *Brassica*: капусты белокочанной, цветной, португальской, листовой, брокколи, кольраби и капусты китайской (Duijs et al., 1992; Cao et al., 1994; Zhang et al., 2008; Winarto, Teixeira da Silva, 2011; Yuan et al., 2012).

В России данную технологию впервые применили в практике селекционной работы почти 30 лет спустя – только в 2010 году, в лаборатории генетики, селекции и биотехнологии овощных культур РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева<sup>1</sup> в рамках селекционной программы по созданию гибридов  $F_1$  капусты в ООО<sup>2</sup> «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева». К настоящему времени всего четыре лаборатории в России владеют этой технологией. В то же время в мире создание гибридов отдельных капустных культур на основе дигаплоидных линий является рутинной практикой (Monakhos, 2015; Hooghvorst et al., 2018; Qu et al., 2021). За последнее время в России с использованием дигаплоидов были созданы гибриды  $F_1$  капусты белокочанной Краут (Monakhos, 2015), Настя (Baidina, 2018) и Натали (Mineykina, 2018).

Однако, несмотря на достигнутые успехи, универсальной технологии получения дигаплоидов у различных культур семейства Brassicaceae не существует, так как на процессы получения гаплоидных растений вли-

<sup>1</sup> Российский Государственный Аграрный Университет - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью

яют многочисленные факторы: генотип растений; агро-климатические условия выращивания растений доноров; стадия развития микроспор и зародышевого мешка; тип предобработки бутонов, микроспор, семян; состав подбираемых для культивирования питательных сред; условия культивирования (Shmykova et al., 2015). Следует отметить, что успешное получение гаплоидных растений на 20-50% зависит от правильного подбора генотипа. Оптимальное значение каждого из перечисленных факторов является необходимым условием для эмбриогенеза. Поэтому в каждом конкретном случае необходима разработка индивидуальных протоколов в культуре изолированных микроспор для каждого отдельного вида растения, сорта, генотипа.

### Томат (*Lycopersicon* Mill.)

Томат (*Lycopersicon* Mill.) является одним из наиболее потребляемых видов овощей во всем мире. Производство томата в больших масштабах при наличии различных неблагоприятных факторов постоянно требует улучшенных сортов, дающих возможность увеличить урожайность и качество плодов. В связи с этим необходимо разработать стратегию для сокращения времени получения новых сортов.

В ряде исследований предприняты попытки индуцирования гаплоидии у томатов путем андрогенеза, однако не удалось получить удовлетворительных результатов, позволяющих сделать рутинным применение данной технологии (Bal, Abak, 2007; Seguí-Simarro et al., 2016; Niazian et al., 2019). Тем не менее, учитывая возможность существенного сокращения времени получения чистых линий данным методом, представляется актуальным продолжение поиска альтернатив, позволяющих эффективно получать дигаплоиды томата.

Получение гаплоидных растений путем гиногенеза успешно применяется для шпината (*Spinacia oleracea* L.) (Keleş et al., 2016), тыквенных культур (Dong et al., 2016; Hooghvorst, Nogués, 2020), столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) (Zayachkovskaya et al., 2021) и для ряда других культур. Однако для томатов результаты, подтверждающие успешное использование гиногенеза, еще так и не получены. Были апробированы такие методы как культивирование *in vitro* неоплодотворенных завязей и семян, использование облученной пыльцы при опылении (Bal, Abak, 2007), а также использование системы CRISPR/Cas9 для редактирования генов *DMP*, который кодирует мембранный белок с доменом неизвестной функции, и *CENH3*, который кодирует центромерный гистон H3 (Zhong et al., 2022).

Получение дигаплоидов томата является предметом исследований более 30 лет в связи с экономической значимостью культуры, однако в проанализированной литературе нет данных о наличии воспроизводимых протоколов. Среди выявленных факторов, препятствующих достижению этой цели, являются слабая отзывчивость

на культивирование *in vitro* (Bal, Abak, 2007; Niazian et al., 2019) и полиплоидия, генерируемая слиянием ядер (Corral-Martínez et al., 2011; Julião et al., 2015). По-прежнему необходимо определить условия инкубации, физические и химические условия среды, зависимость культуры *in vitro* от генотипа используемого донорного растения, от физиологического состояния этого растения и от степени развития его пыльников (Seguí-Simarro, 2016, Niazian et al., 2019).

Таким образом, для обоих способов получения дигаплоидов томата должны быть разработаны эффективные протоколы и решен ряд проблем, связанных с индукцией эмбриогенеза.

### Салат (*Lactuca* L.)

Род *Lactuca* L. относится к семейству Asteraceae Dumort. Салат является важной зелёной культурой, производство которой экономически выгодно, так как культура эта скороспелая и холодоустойчивая. В условиях искусственного освещения, при выращивании на гидропонике и аэропонике, можно получать до 12 урожаев в год. Основные цели в селекции салата: улучшение культурного салата по селекционно-ценным признакам, включая устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам, высокую урожайность, определённую окраску листьев и стеблей, повышенную сохраняемость после сбора урожая; снижение содержания в растениях сесквитерпеновых лактонов, обладающих горьким вкусом. (Popova et al., 2020; Hassan et al., 2021).

К настоящему времени известно более 15 болезней, поражающих культуру салата. К их числу относятся ложная мучнистая роса, мучнистая роса, септориоз, серая гниль, белая гниль, бактериальная гниль, вирусные заболевания (мозаика, разрастание жилок). В качестве источников и доноров устойчивости к болезням и вирусам используют дикие виды *Lactuca* (Chupeau et al., 1994; Artemyeva et al., 2016). В частности, в литературе имеются данные об использовании вида *L. saligna* в качестве донора устойчивости к вирусу мозаики (Subramanya et al., 1980) и к мучнистой росе (Jeuken, Lindhout, 2002). Несмотря на то, что *L. sativa*, *L. serriola*, *L. saligna* и *L. virosa* формируют группу с одинаковым соматическим числом хромосом, это разные виды, для которых существуют проблемы при скрещивании (Mou, 2011). Скрещивание *L. saligna* × *L. sativa* удаётся только в том случае, если *L. saligna* используется в качестве материнской формы. Скрещивания *L. virosa*, *L. sativa* и *L. serriola* друг с другом затруднены (Lebeda et al., 2004). В связи с этим использование биотехнологических методов в селекционных программах данной культуры представляет практической интерес.

Соматическая гибридизация посредством слияния протопластов имеет большой потенциал в улучшении растений. Этот метод дает возможность комбинировать родительские гены для преодоления половой несовме-

стимости между видами или родами растений. Слияние протопластов позволяет передавать желательные качества, например устойчивость к болезням (бактериальным, грибковым, вирусным), вредителям, гербицидам и другим стрессовым факторам. Получение жизнеспособных протопластов зависит от многих факторов: состава ферментов, pH среды, выбора осмотического раствора. Большое значение имеет физиологическое состояние растительного материала, его возраст, условия выращивания. В настоящее время проводится активная работа по изучению культур изолированных протопластов, их выделению и слиянию, а также использованию в селекции растений (Samko, Snigireva, 2009; Shen et al., 2014; Reed, Bargmann, 2021; Hajeri et al., 2022).

Известно, что салат хорошо отзывчив на различные условия культивирования *in vitro* (Doerschug, Miller, 1967; Michelmores, Eash, 1986; Song et al., 2014). С использованием культуры протопластов получены соматические гибриды между культурным салатом *L. sativa* и диким видом *L. virosa*. Полученные гибриды имели типичные морфологические признаки цветка, но все они были стерильными (Matsumoto, 1991). В результате исследований С. Brown с соавторами (Brown et al., 1987) было показано, что дикий вид *L. saligna* может быть использован в качестве источника расово-неспецифической устойчивости к мучнистой росе для переноса в салат *L. sativa* посредством соматической гибридизации.

Таким образом, соматическая гибридизация в селекции салата на устойчивость к болезням и вирусам представляет большой интерес, но при этом необходимо решить проблему стерильности соматических гибридов.

### Кукуруза *Zea mays*

Кукуруза (*Zea mays* L.) была впервые одомашнена около 9 000 лет назад в результате селекции её дикого родича теосинте на юго-западе Мексики (Matsuoka et al., 2002; Piperno et al., 2009). В последние десятилетия кукуруза стала одной из самых широко культивируемых зерновых культур в мире.

Исследования в области биохимии, генетики, физиологии кукурузы в значительной степени обусловлены растущим экономическим значением этой культуры (Jiang et al., 2020; Li et al., 2022; Lorant et al., 2020; Medeiros et al., 2021).

Настоящий прорыв в селекции гибридов кукурузы и их родительских линий был совершен благодаря открытию метода гаплоиндукции (Chase, 1949). Это открытие послужило толчком к созданию первых гаплоиндукторов и созданию инбредных линий с высоким уровнем гомозиготности (Seguí-Simarro et al., 2021).

В настоящее время продолжается совершенствование существующих линий-гаплоиндукторов и поиск новых генов, способствующих повышению частоты гаплоидии (Ulyanov et al., 2022).

Гаплоидия широко применяется для ускорения

гибридной селекции и получения новых линий кукурузы с улучшенными признаками и их стерильных аналогов (Gutorova et al., 2016; Liu et al., 2022). Гаплоиндукторные линии кукурузы и их тетраплоидные аналоги используются в селекции редиплоидных линий кукурузы методом ресинтеза из тетраплоидных форм (Khatefov, Shatskaya, 2007; Khatefov et al., 2019; 2021).

Фирма Syngenta в 2019 году синтезировала гаплоиндукторную линию кукурузы, несущую в спермиях пыльцевого зерна конструкцию CRISPR/Cas, которая способна к одновременному стимулированию гаплоидии и редактированию генома на заданном участке ДНК (Kelliher et al., 2019; Wang et al., 2019). Благодаря этой технологии стало возможным совершенствование линий гаплоиндукторов кукурузы с помощью введения различных конструкций CRISPR/Cas в ее геном для редактирования на любом участке ДНК.

Гаплоиндукторы кукурузы успешно использованы для получения гаплоидных растений пшеницы (Laurie, Bennett, 1988) и овса (Dziurka et al., 2022). Исследователи ведут интенсивный поиск других возможностей использования гаплоиндукторов кукурузы в селекции растений.

Расширение поиска новых доноров признака гаплоиндукции, создание новых, более эффективных гаплоиндукторов способствует накоплению генетических источников, характеризующихся высоким ресурсным потенциалом для селекционно-генетических исследований. Причины, способствующие стимулированию гаплоидии, еще недостаточно изучены.

Особое значение имеют работы по изучению кукурузы и теосинте, направленные на выявление наследования сложных признаков, в том числе способности к одомашниванию (Stitzer, Ross-Ibarra, 2018; Chen et al., 2020). Существует большой интерес к пониманию генетического контроля фенотипической изменчивости у теосинте, поскольку именно из этого разнообразия вариаций была отобрана кукуруза. Гены, контролирующие признаки одомашнивания, могли быть зафиксированы в кукурузе в виде одного лишь функционального аллеля, что делает невозможным применение методов ассоциативной генетики для изучения этих генов в самой кукурузе. Ассоциативное картирование генов теосинте может быть использовано для идентификации ценных аллелей, которые были утеряны во время одомашнивания (Weber et al., 2007; Li et al., 2022).

### Заключение

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области клеточных технологий растений способствуют успешному развитию селекции сельскохозяйственных культур, позволяя создавать новые формы растений в 2-4 раза быстрее по сравнению с традиционными методами селекции.

Достигнут значительный прогресс в области селекции растений с использованием клеточных технологий.

Однако, несмотря на это, остаются некоторые фундаментальные проблемы – например, выяснение влияния гено-типа на способность растений существовать в гаплоидном состоянии, а также вопросы прикладного характера, например подбор оптимальной стадии развития пыльников, микроспор, зародышевого мешка; тип предобработки бутонов, микроспор, семян; состав питательных сред; условия культивирования и стерильность полученных растений. Отсутствие стандартизированных, эффективных и воспроизводимых протоколов для культивирования *in vitro* разных видов растений часто препятствует практической реализации этих методов.

Задачи, стоящие перед лабораторией по созданию исходного селекционного материала, сортов и гибридов методами как традиционной, так и клеточной технологии, актуальны и соответствуют мировому уровню.

## References / Литература

- Artemyeva A.M., Zvereva O.A., Kozhanova T.N., Korniyukhin D.L., Piskunova T.M., Smekalova T.N., Chukhina I.G. Bagmet L.A. Mobilization of vegetable and cucurbit crop genetic resources in the 21<sup>st</sup> century. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2016;177(2):5-21. [in Russian] (Артемьева А.М., Зверева О.А., Кожанова Т.Н., Корнюхин Д.Л., Пискунова Т.М., Смекалова Т.Н., Чухина И.Г. Багмет Л.А. Мобилизация генетических ресурсов овощных и бахчевых культур в XXI веке. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):5-21). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-5-21
- Artemyeva A.M. Department of vegetable and cucurbit crops: traditions and perspectives. In: *Plant Genetic Resources for Genetic Technologies: To the 100th Anniversary of Pushkin Laboratories of VIR: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: Abstracts; 2022 June 22–23; St. Petersburg, Russia*. St. Petersburg: VIR; 2022. p.191-193. [in Russian] (Артемьева А.М. Отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур: история и современность. В кн.: *Генетические ресурсы растений для генетических технологий: к 100-летию Пушкинских лабораторий ВИР: материалы Всероссийской научно-практической конференции: тезисы докладов, Санкт-Петербург, 22–23 июня 2022 г.* Санкт-Петербург: ВИР; 2022. С.191-193).
- Baidina A.V. Optimization of the culture of isolated microspores and assessment of the combinative ability of lines of doubled haploids of white cabbage (Optimizatsiya kultury izolirovannykh mikrospor i otsenka kombinatsionnoy sposobnosti liniy udvoyennykh gaploidov kapusty belokachannoy) [dissertation abstract]. Moscow; 2018. [in Russian] (Байдина А.В. Оптимизация культуры изолированных микроспор и оценка комбинационной способности линий удвоенных гаплоидов капусты белокочанной : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Москва; 2018).
- Butenko R.G. Biology of cells of higher plants *in vitro* and biotechnologies based on them (Biologiya kletok vysshikh rasteniy *in vitro* i biotekhnologiya na ikh osnove). Moscow: FBK-PRESS; 1999. [in Russian] (Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. Москва: ФБК-ПРЕСС; 1999).
- Bal U., Abak K. Haploidy in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): a critical review. *Euphytica*. 2007;158:1-9. DOI: 10.1007/s10681-007-9427-1
- Bhatia R. Dey S.S., Sood Sh., Sharma K., Chander P., Kumar R. Efficient microspore embryogenesis in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) for development of plants with different ploidy level and their use in breeding programme. *Scientia Horticulturae*. 2017;216(3):83-92. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.12.020
- Brown C., Lucas J.A., Power J.B. Plant regeneration from protoplasts of a wild lettuce species (*Lactuca saligna* L.). *Plant Cell Reports*. 1987;6(3):180-182. DOI: 10.1007/BF00268472
- Cao M.Q., Li Y., Liu F., Dore C. Embryogenesis and plant regeneration of pakchoi (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis*) via *in vitro* isolated microspore culture. *Plant Cell Reports*. 1994;13(8):447-450. DOI: 10.1007/BF00231964
- Chase S.S. Monoploid frequencies in a commercial double cross hybrid maize and in its component single cross hybrids and inbred lines. *Genetics*. 1949;34(3):328-332. DOI: 10.1093/genetics/34.3.328
- Chen Q., Samayoa L.F., Yang C.J., Bradbury P.J., Olukolu B.A., Neumeyer M.A., Romay M.C., Sun Q., Lorant A., Buckler E.S., Ross-Ibarra J., Holland J.B., Doebley J.F. The genetic architecture of the maize progenitor, teosinte, and how it was altered during maize domestication. *PLoS Genetics*. 2020;16(5):e1008791. DOI: 10.1371/journal.pgen.1008791
- Chupeau M.C., Maisonneuve B., Bellec Y., Chupeau Y.A. *Lactuca* universal hybridizer, and its use in creation of fertile interspecific somatic hybrids. *Molecular and General Genetics*. 1994;245(2):139-145. DOI: 10.1007/BF00283260
- Corral-Martínez P., Nuez F., Seguí-Simarro J.M. Genetic, quantitative and microscopic evidence for fusion of haploid nuclei and growth of somatic calli in cultured ms1035 tomato anthers. *Euphytica*. 2011;178(2):215-228. DOI: 10.1007/s10681-010-0303-z
- Dias S.J.C. Protocol for broccoli microspore culture. In: M. Maluszynski, K.J. Kasha, B.P. Forster, I. Szarejko (eds). *Doubled haploid production in crop plants: a manual*. Springer Science+Business Media New York; 2003. p.195-204.
- Djatchouk T.I., Khomyakova O.V., Akinina V.N., Kibkalo I.A., Pominov A.V. Microspore embryogenesis *in vitro*: the role of stresses. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(1):86-94. [in Russian] (Дьячук Т.И., Хомякова О.В., Акиннин В.Н., Кибкало И.А., Поминов А.В. Микроспоровый эмбриогенез *in vitro* – роль стрессов. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(1):86-94). DOI: 10.18699/VJ19.466
- Duijs J.C., Voorrips R.E., Visser D.L., Custers J.B.M. Microspore culture is successful in most crop types of *Brassica oleracea* L. *Euphytica*. 1992;60(1):45-55. DOI: 10.1007/BF00022257
- Doerschug M.R., Miller C. Chemical control of adventitious organ formation in *Lactuca sativa* explants. *American Journal of Botany*. 1967;54(4):410-413. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1967.tb10658.x
- Dombildes E.A., Kozar E.V., Shumilina D.V., Zayachkovskaya T.V., Akhramenko V.A., Soldatenko A.V. Embryogenesis in culture of isolated microspore of broccoli. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(1):3-7. [In Russian] (Домблдес Е.А., Козарь Е.В., Шумилина Д.В., Заячковская Т.В., Ахраменко В.А., Солдатенко А.В. Эмбриогенез в культуре микроспор брокколи. *Овощи России*. 2018;(1):3-7). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-1-3-7
- Dong Y.Q., Zhao W.X., Li X.H., Liu X.C., Gao N.N., Huang J.H., Wang W.Y., Xu X.L., Tang Z.H. Androgenesis, gynogenesis, and parthenogenesis haploids in cucurbit species. *Plant Cell Reports*. 2016;35(10):1991-2019. DOI: 10.1007/s00299-016-2018-7
- Dong Y.Q., Gao Y.H., Zhao T., Ren G.Q., Liu Y.L., Guan B., Jin R.X., Gao F., Zhang Y.L., Tan X.F., Zhu H.C., Zhang Y.H., Zhang J.X., Peng D., Yan Y.X. Influencing factors and physiochemical changes of embryogenesis through *in vitro* isolated microspore culture in *Brassica* species. *Biologia*. 2021;76:2629-2654. DOI: 10.1007/s11756-021-00721-0
- Dziurka K., Dziurka M., Muszyńska E., Czyczyło-Mysza I., Warchoń M., Juzoń K., Laskoś K., Skrzypek E. Anatomical and hormonal factors determining the development of haploid and zygotic embryos of oat (*Avena sativa* L.). *Scientific Reports*. 2022;12(1):548. DOI: 10.1038/s41598-021-04522-y
- Ferrie A.M.R., Caswell K.L. Isolated microspore culture techniques and recent progress for haploid and doubled haploid plant production. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2011;104:301-309. DOI: 10.1007/s1240-010-9800-y
- Gu H., Zhao Z., Sheng X., Wang H.Y. Efficient doubled haploid production in microspore culture of loose-curd cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). *Euphytica*. 2014;195(3):467-475. DOI: 10.1007/s10681-013-1008-x
- Gutorova O.V., Apanasova N.V., Yudakova O.I. Creation of genetically

- marked maize lines with inherited and induced types of parthenogenesis. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;18(2-2):341-344. [in Russian] (Гуторова О.В., Апанасова Н.В., Юдакова О.И. Создание генетически маркированных линий кукурузы с наследуемым и индуцированным типами партеногенеза. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016;18(2-2):341-344).
- Hajeri S., Ng J., Grosser J., Vidalakis G. Isolation and transfection of citrus protoplasts with citrus exocortis viroid. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*. 2022;2316:39-54. DOI: 10.1007/978-1-0716-1464-8\_4
- Hassan M.N., Mekkiawy S.A., Mahdy M., Salem K.F.M., Tawfik E. Recent molecular and breeding strategies in lettuce (*Lactuca* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2021;68:3055-3079. DOI: 10.1007/s10722-021-01246-w
- Hooghvorst I., Nogués S. Opportunities and challenges in doubled haploids and haploid inducer-mediated genome-editing systems in cucurbits. *Agronomy*. 2020;10(9):1441. DOI: 10.3390/agronomy10091441
- Hooghvorst I., Ramos-Fuentes E., López-Cristofannini C., Ortega M., Vidal R., Serrat X., Nogués S. Antimitotic and hormone effects on green double haploid plant production through anther culture of Mediterranean japonica rice. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2018;134:205-215. DOI: 10.1007/s11240-018-1413-x
- Jiang S., Cheng Q., Yan J., Fu R., Wang X. Genome optimization for improvement of maize breeding. *Theoretical and Applied Genetics*. 2020;133(5):1491-1502. DOI: 10.1007/s00122-019-03493-z
- Jeuken M., Lindhout P. *Lactuca saligna*, a non-host for lettuce downy mildew (*Bremia lactucae*), harbors a new race-specific *Dm* gene and three QTLs for resistance. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;105(2-3):384-391. DOI: 10.1007/s00122-002-0943-z
- Julião S.A., Carvalho C.R., da Silva T.C.R., Koehler A.D. Multiploidy occurrence in tomato calli from anther culture. *African Journal of Biotechnology*. 2015;14:2846-2855. DOI: 10.5897/AJB2015.14525
- Kelliher T., Starr D., Su X., Tang G., Chen Z., Carter J., Wittich P.E., Dong S., Green J., Burch E., McCuiston J., Gu W., Sun Y., Strebe T., Roberts J., Bate N.J., Que Q. One-step genome editing of elite crop germplasm during haploid induction. *Nature Biotechnology*. 2019;37:287-292. DOI: 10.1038/s41587-019-0038-x
- Keleş D., Özcan C., Pinar H., Ata A., Denli N., Yücel N., Taşkın H., Büyükalaca S. First report of obtaining haploid plants using tissue culture techniques in spinach. *Horticultural Science*. 2016;51(6):742-749. DOI: 10.21273/HORTSCI.51.6.742
- Khatefov E.B., Shatskaya O.A. The use of haploinducers in heteroploid crosses to expand the diversity of the genetic basis of maize. In: *Genetic Resources of Cultivated Plants in 21st Century: current status, problems, perspectives: Abstracts from the 2nd Vavilov International Conference; 2007 November 26–30; St. Petersburg, Russia*. St. Petersburg: VIR; 2007. p.367-369. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Шацкая О.А. Применение гаплоиндукторов в гетероплоидных скрещиваниях для расширения разнообразия генетической основы кукурузы. В кн.: *Генетические ресурсы культурных растений в XXI веке: состояние, проблемы, перспективы: тезисы докладов II Вавиловской международной конференции, Санкт-Петербург, 26–30 ноября 2007 г.* Санкт-Петербург: ВИР; 2007. С.367-369).
- Khatefov E.B., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S., Kudaev R.A., Khashirova Z.T., Gyaurgiev A.Kh. Combining ability and response to CMS in reverse diploid maize lines developed at VIR. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2019;2(4):15-23. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С., Кудав Р.А., Хаширова З.Т., Гяургиев А.Х. Характеристика редиплоидных линий кукурузы селекции ВИР по комбинационной способности и реакции на ЦМС. *Биотехнология и селекция растений*. 2019;2(4):15-23). DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-o2
- Khatefov E.B., Khoreva V.I., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S., Khashirova Z.T., Kudaev R.A., Gyaurgiev A.Kh. Rediploid maize lines (diploid lines resynthesized from a tetraploid population for breeding hybrid maize). St. Petersburg: VIR; 2021. (Catalogue of the VIR global collection; iss. 932). [in Russian] (Хатефов Э.Б., Хорева В.И., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С., Хаширова З.Т., Кудав Р.А., Гяургиев А.Х. Редиплоидные линии кукурузы (ресинтезированные из тетраплоидной популяции диплоидные линии для гибридной селекции кукурузы). Санкт-Петербург: ВИР; 2021. (Каталог мировой коллекции ВИР; вып. 932)).
- Laurie D.A., Bennett M.D. The production of haploid wheat plants from wheat×maize crosses. *Theoretical and Applied Genetics*. 1988;76:393-397. DOI: 10.1007/BF00265339
- Lebeda A., Dolezalová I., Feráková V., Astley D. Geographical distribution of wild *Lactuca* species (*Asteraceae, Lactuceae*). *The Botanical Review*. 2004;70(3):328-356. DOI: 10.1663/0006-8101(2004)070[0328:GDOWLS]2.0.CO;2
- Lee M.H., Lim C.J., Lee I.H., Song J.H. High-purity seed production of doubled haploid Chinese cabbage [*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* (Lour.)] through microspore culture. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2014;2(2):167-175. DOI: 10.9787/PBB.2014.2.2.167
- Lemonnier-Le Penhuizic C., Chatelet C., Kloareg B., Potin P. Carraegenan oligosaccharides enhance stress-induced microspore embryogenesis in *Brassica oleracea* var *italica*. *Plant Science*. 2001;160(6):1211-1220. DOI: 10.1016/S0168-9452(01)00372-7
- Li Z., Han L., Luo Z., Li L. Single-molecule long-read sequencing reveals extensive genomic and transcriptomic variation between maize and its wild relative teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). *Molecular Ecology Resources*. 2022;22(1):272-282. DOI: 10.1111/1755-0998.13454
- Lichter R. Induction of haploid plants from isolated pollen of *Brassica napus*. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie = International Journal of Plant Physiology*. 1982;105(5):427-434. DOI: 10.1016/S0044-328X(82)80040-8
- Liu S., Ulyanov A.V., Khatefov E.B. The use of *R-nj*, *Bl*, *Pll* genes to improve marker properties in the selection of maize haploinducers. *Ecological Genetics*. 2022;20(3):193-202. [in Russian] (Лю С., Ульянов А.В., Хатефов Э.Б. Использование генов *R-nj*, *Bl*, *Pll* для улучшения маркерных свойств в селекции гаплоиндукторов кукурузы. *Экологическая генетика*. 2022;20(3):193-202). DOI: 10.17816/ecogen108374
- Lorant A., Ross-Ibarra J., Tenailon M. Genomics of long- and short-term adaptation in maize and teosintes. *Methods in Molecular Biology*. 2020;2090:289-311. DOI: 10.1007/978-1-0716-0199-0\_12
- Matsuoka Y., Vigouroux Y., Goodman M.M., Sanchez G.J., Buckler E., Doebley J. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2002;99:6080-6084. DOI: 10.1073/pnas.052125199
- Matsumoto E. Interspecific somatic hybridization between lettuce (*Lactuca sativa*) and wild species *L. virosa*. *Plant Cell Reports*. 1991;9(10):531-534. DOI: 10.1007/BF00232325
- Medeiros D.B., Brotman Y., Fernie A.R. The utility of metabolomics as a tool to inform maize biology. *Plant Communications*. 2021;2(4):100187. DOI: 10.1016/j.xplc.2021.100187
- Michelmore R.W., Eash J.A. Tissue culture of lettuce. In: D.A. Evans, W.R. Sharp, P.V. Amirato (eds). *Handbook of Plant Cell Culture*. Vol. 4. Techniques and applications. London: Collier MacMillan; 1986. p.512-551.
- Mineykina A.I. Creation of the initial material of white cabbage using modern breeding methods (Sozdaniye iskhodnogo materiala kapusty belokochannoy s ispolzovaniyem sovremennykh metodov seleksii) [dissertation abstract]. Moscow; 2018. [in Russian] (Минейкина А.И. Создание исходного материала капусты белокочанной с использованием современных методов селекции: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Москва; 2018).
- Monakhos S.G. Integration of modern biotechnological and classical methods in vegetable crops breeding (Integratsiya sovremennykh biotekhnologicheskikh i klassicheskikh metodov v seleksii oshochnykh kultur) [dissertation]. Moscow; 2015. [in Russian] (Монахос С.Г. Интеграция современных биотехнологических и классических методов в селекции овощных культур: дис. ... д-ра. с.-х. наук. Москва; 2015).
- Mou B. Mutations in lettuce improvement. *International Journal of Plant Genomics*. 2011;2011:723518. DOI: 10.1155/2011/723518
- Niazian M., Shariatpanahi M.E., Abdipour M., Oroojloo M. Modeling callus induction and regeneration in an anther culture of tomato

- (*Lycopersicon esculentum* L.) using image processing and artificial neural network method. *Protoplasma*. 2019;256:1317-1332. DOI: 10.1007/s00709-019-01379-x
- Olmedilla A. Microspore Embryogenesis. In: E. Pua, M. Davey (eds). *Plant Developmental Biology - Biotechnological Perspectives*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2010. p.27-44. DOI: 10.1007/978-3-642-04670-4\_2
- Ockendon D.J., Sutherland R.A. Genetic and nongenetic factors affecting anther culture of Brussels sprout (*Brassica oleracea* var. *gemmifera*). *Theoretical and Applied Genetics*. 1987;74(5):566-570. DOI: 10.1007/BF00288853
- Piperno D.R., Ranere A.J., Holst I., Iriarte J., Dickau R. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium B.P. maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009;106:5019-5024. DOI: 10.1073/pnas.0812525106
- Pivovarov V., Shmykova N., Suprunova T. Biotechnological approaches to vegetable crop breeding. *Vegetable Crops of Russia*. 2011;3(12):10-17. [in Russian] (Пивоваров В., Шмыкова Н., Супрунова Т. Биотехнологические приемы в селекции овощных культур. *Овощи России*. 2011;3(12):10-17). URL: <https://sciup.org/14024894> [дата обращения: 17.11.2022].
- Popova A.S., Starukhina A.O., Zaitsev V.G. The sesquiterpene lactones production optimization as the seeding lettuce (*Lactuca sativa*) breeding prospective goal. *Scientific and Agronomic Journal*. 2020;4(111):59-63. [in Russian] (Попова А.С., Старухина А.О., Зайцев В.Г. Оптимизация продукции сесквитерпеновых лактонов как перспективная цель селекции посевного салата (*Lactuca sativa*). *Научно-агрономический журнал*. 2020;4(111):59-63). DOI: 10.34736/FNC.2020.111.4.011.59-63.
- Reed K.M., Bargmann B.O.R. Protoplast regeneration and its use in new plant breeding technologies. *Frontiers in Genome Editing*. 2021;3:734951. DOI: 10.3389/fgeed.2021.734951
- Rudolf K., Bohanec B., Hansen M. Microspore culture of white cabbage, *Brassica oleracea* var. *capitata* L.: Genetic improvement of nonresponsive cultivars and effect of genome doubling agents. *Plant Breeding*. 1999;118(3):237-241. DOI: 10.1046/j.1439-0523.1999.118003237.x
- Qu Y., Liu Z., Zhang Y., Yang J., Li H. Improving the sorting efficiency of maize haploid kernels using an NMR-based method with oil content double thresholds. *Plant Methods*. 2021;17:2. DOI: 10.1186/s13007-020-00703-4
- Samko O.V., Snigireva A.V. The use of somatic hybridization technology in plant breeding (Ispolzovaniye tekhnologii somaticheskoy gibrizatsii v selektsii rasteniy). *Amur Scientific Bulletin*. 2009;(1):233-239. [in Russian] (Самко О.В., Снигирева А.В. Использование технологии соматической гибридизации в селекции растений. *Амурский научный вестник*. 2009;(1):233-239).
- Seguí-Simarro J.M. Androgenesis in *Solanaceae*. In: M.A. Germanà, M. Lambardi (eds.). *In Vitro Embryogenesis in Higher Plants. Methods in Molecular Biology*. New York, NY, USA: Springer Science + Business Media; 2016. p.209-244. DOI: 10.1007/978-1-4939-3061-6\_9
- Seguí-Simarro J.M., Jacquier N.M.A., Widiez T. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. *Methods in molecular biology* (Clifton N.J.). 2021;2287:3-22. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3\_1
- Shen J., Fu J., Ma J., Wang X., Gao C., Zhuang C., Wan J., Jiang L. Isolation, culture, and transient transformation of plant protoplasts. *Current Protocols in Cell Biology*. 2014;63:2.8.1-2.8.17. DOI: 10.1002/0471143030.cb0208s63
- Shmykova N.A., Shumilina D.V., Suprunova T.P. Doubled haploid production in *Brassica* L. seeds. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):111-120. [in Russian] (Шмыкова Н.А., Шумилина Д.В., Супрунова Т.П. Получение удвоенных гаплоидов у видов рода *Brassica* L. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):111-120). DOI: 10.18699/VJ15.014
- Spiridovich E.V. Botanical collections: documentation and biotechnological aspects of use. Minsk: Belarusian Science, 2015. [in Russian] (Спиридович Е.В. Ботанические коллекции: документирование и биотехнологические аспекты использования. Минск: Белорусская наука, 2015).
- Subramanya R., Vest G., Honma S. Inheritance of nitrate accumulation in lettuce. *Horticultural Science*. 1980;15(4):525-526. DOI: 10.21273/HORTSCI.15.4.525
- Song D., Han Q., Dong Z., He Z. Genetic transformation of lettuce (*Lactuca sativa*): a review. *African Journal of Biotechnology*. 2014;13:1686-1693. DOI: 10.5897/AJB2014.13651
- Stitzer M.C., Ross-Ibarra J. Maize domestication and gene interaction. *The New Phytologist*. 2018;220(2):395-408. DOI: 10.1111/nph.15350
- Takahashi Y., Yokoi S., Takahata Y. Effects of genotypes and culture conditions on microspore embryogenesis and plant regeneration in several subspecies of *Brassica rapa* L. *Plant Biotechnology Reports*. 2012;6(4):297-304. DOI: 10.1007/s11816-012-0224-5
- Ulyanov A.V., Karlov A.V., Hatefov E.B. The use of maize haploinducers as a tool in the biotechnology of agricultural plants. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(7):704-713. [in Russian] (Ульянов А.В., Карлов А.В., Хатефов Э.Б. Использование гаплоиндукторов кукурузы как инструмента в биотехнологии сельскохозяйственных растений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):704-713). DOI: 10.18699/VJGB-22-85
- Verpoorte R., Choi Y.H., Kim H.K. NMR-based metabolomics at work in phytochemistry. *Phytochemistry Reviews*. 2007;6(1):3-14. DOI: 10.1007/s1101-006-9031-3
- Wang B., Zhu L., Zhao B., Zhao Y., Xie Y., Zheng Z., Li Y., Sun J., Wang H. Development of a haploid-inducer mediated genome editing system for accelerating maize breeding. *Molecular Plant*. 2019;12(4):597-602. DOI: 10.1016/j.molp.2019.03.006
- Weber A., Clark R.M., Vaughn L., Sánchez-Gonzalez J. de J., Yu J., Yandell B.S., Bradbury P., Doebley J. Major regulatory genes in maize contribute to standing variation in teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). *Genetics*. 2007;177(4):2349-2359. DOI: 10.1534/genetics.107.080424
- Winarto B., Teixeira da Silva J.A. Microspore culture protocol for Indonesian *Brassica oleracea*. *Plant Cell and Tissue Organ Culture*. 2011;107:305-315. DOI: 10.1007/s1240-011-9981-z
- Yuan S.X., Su Y.B., Liu Y.M., Fang Z.Y., Yang L.M., Zhuang M., Zhang Y.Y., Sun P.T. Effects of pH, MES, arabinogalactan-proteins on microspore cultures in white cabbage. *Plant Cell and Tissue Organ Culture*. 2012;110:69-76. DOI: 10.1007/s1240-012-0131-z
- Yuan S., Su Y., Liu Y., Li Z., Fang Z., Yang L., Zhuang M., Zhang Y., Lu H., Sun P. Chromosome doubling of microspore-derived plants from cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.). *Plant Science*. 2015(6):1-10. DOI: 10.3389/fpls.2015.01118
- Zayachkovskaya T., Domblides E., Zayachkovsky V., Kan L., Domblides A., Soldatenko A. Production of gynogenic plants of red beet (*Beta vulgaris* L.) in unpollinated ovule culture *in vitro*. *Plants*. 2021;10(12):2703. DOI: 10.3390/plants10122703
- Zhang W., Qiang F., Xigang D., Man Zhu B. The culture of isolated microspores of ornamental kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) and the importance of genotype to embryo regeneration. *Scientia Horticulturae*. 2008;117(1):69-72. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.03.023
- Zhong Y., Chen B., Wang D., Zhu X., Li M., Zhang J., Chen M., Wang M., Riksen T., Liu J., Qi X., Wang Y., Cheng D., Liu Z., Li J., Chen C., Jiao Y., Liu W., Huang S., Liu C., Boutilier K., Chen S. *In vivo* maternal haploid induction in tomato. *Plant Biotechnology Journal*. 2022;20:250-252. DOI: 10.1111/pbi.13755

---

### ***Информация об авторах***

**Анастасия Борисовна Курина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и.о. зав. лаборатории селекции и клеточных технологий отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.kurina@vir.nw.ru, orcid.org/0000-0002-3197-4751

**Анна Майевна Артемьева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, и.о. зав. отдела генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, akme11@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-6551-5203

### ***Information about the authors***

**Anastasia B. Kurina**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Acting Head, Laboratory of Breeding and Cell Technologies at the Department of Genetic Resources of Vegetable and Cucurbit Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.kurina@vir.nw.ru, orcid.org/0000-0002-3197-4751

**Anna M. Artemyeva**, Cand. Sci. (Agric.), Leading Researcher, Acting Head, Department of Genetic Resources of Vegetable and Cucurbit Crops, N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, akme11@yandex.ru, orcid.org/0000-0002-6551-5203

**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 21.11.2022; одобрена после рецензирования 10.12.2022; принята к публикации 27.12.2022.

The article was submitted on 21.11.2022; approved after reviewing on 10.12.2022; accepted for publication on 27.12.2022.

Обзорная статья  
УДК 631.52:635.9  
DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-03



## Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н.И. Вавилова

Р. С. Рахмангулов, И. В. Барабанов, М. В. Ерастенкова, А. А. Иванов, Т. М. Коваленко, К. М. Межина, И. А. Петросян, А. А. Харченко, Д. Ю. Шаймарданов, Э. Х. Шаймарданова, И. Н. Анисимова, Н. Г. Тихонова, Ю. В. Ухатова, Е. К. Хлесткина

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

**Автор, ответственный за переписку:** Руслан Султанович Рахмангулов, r.rakhmangulov@vir.nw.ru

Применение современных методов биотехнологии и молекулярной генетики позволяет выявлять на этапах пребридинга перспективные образцы с заданными хозяйственно-ценными признаками. Успех создания новых сортов растений зависит от наличия уникальных коллекций генетических ресурсов, информации о геномах, возможности культивирования *in vitro* генотипов с высокой регенерационной способностью, а также практических навыков и компетенций в данной области. Одним из передовых методов ускорения селекционного процесса является редактирование генома с помощью системы CRISPR/Cas. Данный метод позволяет эффективно осуществлять модификацию генов с целью получения сортов с заданными признаками. В 2022 году в рамках национального проекта «Наука и университеты» в ВИР открыта новая молодежная лаборатория генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур; примечательно, что это событие совпало со 135-летием со дня рождения Н.И. Вавилова. Основными направлениями работы лаборатории являются получение линий с заданными свойствами для дальнейшего селекционного процесса, выявление генов-мишеней хозяйственно-ценных признаков для получения новых сортов, линий, гибридов, а также создание протоколов ускоренного размножения безвирусного материала коммерчески востребованных сортов, ориентированных на импортозамещение. В данном обзоре рассмотрены актуальные направления селекции декоративных и ягодных культур: изменение окраски цветка (львиный зев, пион), улучшение аромата цветка (розы), изменение архитектоники (актинидия), повышение устойчивости к стресс-факторам (ежевика, земляника, виноград).

**Ключевые слова:** ген-мишень, декоративные и ягодные культуры, морозоустойчивость, вкусовые качества ягод, изменение окраски цветка

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках государственного задания ВИР согласно тематическому плану НИР по теме № FGEM-2022-0011 «Разработка подходов ускоренной селекции для улучшения хозяйственно ценных признаков декоративных и ягодных культур».

**Для цитирования:** Рахмангулов Р.С., Барабанов И.В., Ерастенкова М.В., Иванов А.А., Коваленко Т.М., Межина К.М., Петросян И.А., Харченко А.А., Шаймарданов Д.Ю., Шаймарданова Э.Х., Анисимова И.Н., Тихонова Н.Г., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К. Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):65-78. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-03

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.

© Рахмангулов Р.С., Барабанов И.В., Ерастенкова М.В., Иванов А.А., Коваленко Т.М., Межина К.М., Петросян И.А., Харченко А.А., Шаймарданов Д.Ю., Шаймарданова Э.Х., Анисимова И.Н., Тихонова Н.Г., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К., 2022

---

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-03

## The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Ruslan S. Rakhmangulov, Ivan V. Barabanov, Mariya V. Erastenkova, Aleksandr A. Ivanov, Tatyana V. Kovalenko, Ksenya M. Mezhdina, Igor A. Petrosyan, Anastasiya A. Kharchenko, Damir Yu. Shaimardanov, Elza Kh. Shaimardanova, Irina N. Anisimova, Nadezhda G. Tikhonova, Yulia V. Ukhatova, Elena K. Khlestkina

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

**Corresponding author:** Ruslan S. Rakhmangulov, r.rakhmangulov@vir.nw.ru

The use of modern breeding methods, biotechnology, and molecular genetics makes it possible to identify promising accessions with specified economically important traits at early pre-breeding stages. The success of creating new varieties depends on the availability of unique collections of plant genetic resources, information about genomes, possibility of *in vitro* cultivation with high regenerative capacity, and practical skills and competencies in this area. One of the advanced methods for accelerating the breeding process is genome editing using the CRISPR/Cas system. This method allows the effective modification of genes in order to obtain varieties with desired traits. In 2022, a new youth laboratory of genetics, breeding, biotechnology of ornamental and berry crops was set up at VIR as part of the National Project "Science and Universities". It is noteworthy that this event coincided with the 135th anniversary of the birth of N.I. Vavilov. The work of the laboratory is aimed at obtaining lines with desired properties for the further breeding process; identifying target genes of economically important traits for obtaining new varieties, lines, and hybrids; as well as creating protocols for the accelerated reproduction of virus-free material of commercially demanded varieties oriented towards import substitution. This review discusses current trends in breeding of ornamental and berry crops: e.g., flower color change in snapdragon and peony; flower aroma improvement in rose; architectonics change in actinidia; and increase of resistance to stress factors in blackberries, strawberries, and grapes.

**Key words:** target gene, ornamental and berry crops, frost resistance, taste qualities of berries, flower color change

---

**Acknowledgments:** The article was prepared as part of the Government Assignment to VIR in accordance with the R&D Thematic Plan Topic No. FGEM-2022-0011 «Development of accelerated breeding approaches to improve the economically valuable properties of ornamental and berry crops».

**For citation:** Rakhmangulov R.S., Barabanov I.V., Erastenkova M.V., Ivanov A.A., Kovalenko T.V., Mezhdina K.M., Petrosyan I.A., Kharchenko A.A., Shaimardanov D.Yu., Shaimardanova E.Kh., Anisimova I.N., Tikhonova N.G., Ukhatova Yu.V., Khlestkina E.K. The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):65-78. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-03

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 authors, and their employers.

---

© Rakhmangulov R.S., Barabanov I.V., Erastenkova M.V., Ivanov A.A., Kovalenko T.V., Mezhdina K.M., Petrosyan I.A., Kharchenko A.A., Shaimardanov D.Yu., Shaimardanova E.Kh., Anisimova I.N., Tikhonova N.G., Ukhatova Yu.V., Khlestkina E.K., 2022

## Введение

Стремительно меняющиеся климатические условия формируют новую парадигму обеспечения продовольственной безопасности государств в целом и селекции сельскохозяйственных растений в частности. Решением данной проблемы стало применение современных методов селекции, биотехнологии, молекулярной генетики, которые дают возможность на ранних этапах выявлять образцы, обладающие ценными хозяйственными и биологическими признаками. Подобный подход позволяет создавать сорта с желаемым набором полезных признаков, адаптированные к конкретной природно-климатической зоне. Однако успех получения нового генотипа с ценными признаками зависит от наличия у конкретного вида растения достоверных сведений о его геноме (референсного генома), возможности культивирования клеток и тканей в условиях *in vitro* и их высокой регенерационной способности, а также от наличия коллекции образцов, представляющих генетическое разнообразие конкретной культуры (Rakhmangulov, Tikhonova, 2021).

Уникальные коллекции генетических ресурсов растений, сохраняемые в ведущих научных учреждениях России, дают возможность эффективно использовать новейшие методы и технологии для создания растений с качественно новыми хозяйственно полезными признаками. Применение современных молекулярно-генетических технологий позволяет увеличить разнообразие полезных признаков возделываемых растений, а также преодолеть ряд ограничений традиционных методов селекции. С недавних пор активно ведутся исследования по улучшению хозяйственно-ценных признаков растений посредством редактирования генома с помощью системы CRISPR/Cas (Khlestkina, Shumny, 2016). С открытием данного метода появилась возможность эффективной модификации генов для улучшения свойств многих видов растений путем направленного мутагенеза. Таким образом стало возможным получение новых сортов растений в течение трех лет, в отличие от 10-15 лет в случае использования традиционных методов селекции (Medvedeva et al., 2012; Kuluev et al., 2017).

В 2022 году в ВИР в рамках национального проекта «Наука и университеты» открыта новая молодежная лаборатория генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур; примечательно, что это событие совпало со 135-летием со дня рождения Н.И. Вавилова. Целью и приоритетным направлением научных исследований является разработка подходов к ускоренной селекции для улучшения признаков декоративных растений, улучшения качества плодов ягодных культур, выявления генов-мишеней для модификации хозяйственно ценных признаков декоративных и ягодных культур. Исследования направлены на получение линий с заданными свойствами для дальнейшего селекционного процесса, создание протоколов ускоренного размножения безвирусного материала коммерчески востребованных

сортов и сортов декоративных и ягодных культур, полученных современными методами селекции с ориентированием на импортозамещение. В качестве объектов исследования привлечены коллекции генетических ресурсов львиного зева (*Antirrhinum majus* L.), пионов (*Paeonia* L.), роз (*Rosa* L.), флоксов (*Phlox paniculata* L.), актинидии (*Actinidia* Lindl.), ежевики (*Rubus* L.), земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Weston) Duchesne ex Rozier), винограда (*Vitis* L.).

## ДЕКОРАТИВНЫЕ КУЛЬТУРЫ

На сегодняшний день порядка 95 % отечественного рынка декоративных культур представлены импортными сортами. С учетом современного состояния экономики и перспектив дальнейшего нарушения существующих логистических путей транспортировки продукции актуальность импортозамещения становится все более значимой. Расширение, совершенствование отечественного сортимента, насыщение рынка сортами российской селекции – основная задача селекции декоративных культур в России. Селекционная работа с декоративными культурами направлена на модификацию таких признаков как устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды, аромат, компактность куста, длительность и обильность цветения, уникальная форма и окраска цветка, листьев, стеблей, устойчивость окраски лепестков цветка к выгоранию на солнце (Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Rakhmangulov, 2022). Ниже мы рассмотрим перспективные направления исследований по созданию новых линий ряда декоративных и ягодных культур: львиного зева, пионов, роз, актинидии, ежевики, земляники и винограда.

**Львиный зев** (*Antirrhinum majus* L.). Львиный зев – одна из наиболее популярных культур в современном цветоводстве. Современные сорта и гибриды львиного зева характеризуются большим разнообразием окраски и формы цветков, высоты растений, отличаются устойчивостью к заморозкам (Khanbabaeva et al., 2013). Наряду с *Arabidopsis thaliana* L., львиный зев более 100 лет используется в качестве модельного объекта для изучения генетического контроля признаков, в первую очередь, окраски цветка (Schwarz-Sommer et al., 2003). У *A. majus* впервые обнаружен ряд ключевых генов, регулирующих развитие цветка, определяющих изменчивость его окраски, а также вовлеченных в контроль самонесовместимости. М. Li с соавторами (Li et al., 2019) получили первую в случае представителей семейства Plantaginaceae Juss. (Scrophulariaceae Juss.) версию сборки генома сорта ‘J17’ *A. majus*, охватывающую 510 миллионов ( $510 \times 10^6$ ) пар оснований геномной последовательности и включающую почти 38 тысяч белок-кодирующих генов (Li et al., 2019).

Известно, что окраска цветка и других органов растения определяется различными группами пигментов – каротиноидами, хлорофиллами и пигментами флавоноидной группы, в том числе антоцианами. Антоцианы,

в различных сочетаниях, обеспечивают не только окраску синего, фиолетового, пурпурного, желтого и других оттенков, но и отвечают за устойчивость к факторам среды, в том числе ультрафиолетовому излучению, холоду и другим (Nassour et al., 2020). Путь биосинтеза антоцианов хорошо изучен, установлены ключевые ферменты и субстраты, однако молекулярно-генетические основы различий в интенсивности, оттенках и зональном распределении окраски нуждаются в дальнейшем уточнении для каждого конкретного вида. Изучение генов, ответственных за синтез пигментов и разнообразие окраски цветка, позволит установить генетическую основу межсортовых и межвидовых различий, механизм их возникновения.

Молекулярно-генетической основой полиморфизма окраски цветка *A. majus* является различная экспрессия регуляторных (*R2R3-MYB*) и структурных (*CHI*, *CHS*, *DFR*, *F3H*, *F3'H*, *F3'5'H*) генов биосинтеза антоцианов (Schwinn et al., 2006; Ishiguro et al., 2012). Гены подсемейства *R2R3-MYB* кодируют группу транскрипционных факторов 2R-MYB, участвующих в регуляции процессов развития растений, вторичного метаболизма и ответа на воздействия стрессовых факторов среды. Продукты генов *CHI* (халкон-изомеразы), *CHS* (халкон-синтазы), *DFR* (дегидрофлавонол-4-редуктазы), *F3'H* (флавоноид-3'-гидроксилазы), *F3'5'H* (флавоноид-3'5'-гидроксилазы) являются главными компонентами биосинтетических путей антоцианов.

Изучение полиморфизма окраски у львиного зева требует оценки аллельного разнообразия генов, участвующих в регуляции цветения. Перспективным в этом направлении, является использование ILP-маркеров (Intron Length Polymorphism) благодаря их высокой специфичности, а также сравнительно низкой консервативности интронных областей генов. Анализ полиморфизма длин интронов генов интереса позволит сделать вывод о том, является ли различная окраска цветка у растений львиного зева следствием хромосомных мутаций (дупликации и дальнейшей диверсификации генов) или же изменений структуры одного гена (Pankin et al., 2008).

Важным источником генных мутаций в растительных организмах являются мобильные элементы (транспозоны, ретротранспозоны). Известно, что такие транспозоны как Tam1, Tam2, Tam3, могут встраиваться в различные локусы генома *A. majus* и вызывать изменение распределения пигмента или же его отсутствие (Martin et al., 1985; Coen et al., 1986; Nehl et al., 1987). Например, транспозон Tam1, интегрируясь в промоторную область гена *nivea* (кодирует фермент халкон-синтазу) прекращает его экспрессию, провоцируя развитие белых цветков. Экцизия транспозона в соматических клетках приводит к восстановлению функции гена, но нарушает его структуру, что приводит к развитию цветков белого цвета с окрашенными полосами и пятнами (Sommer et al., 1985). Таким образом, изучение факторов, вызывающих изменение интенсивности экспрессии структурных и регуляторных генов биосинтеза антоцианов и, следовательно, полиморфизм

окраски позволит в дальнейшем редактировать описанные гены и получать сорта львиного зева с требуемыми характеристиками.

**Пионы** (*Paeonia lactiflora* Pall., *P. suffruticosa* Andrews). Травянистый пион *P. lactiflora* является традиционным цветком в Китае (Li, 1999). История его культивирования насчитывает свыше 3900 лет. Благодаря своим крупным цветкам, широкой палитре окрасок цветов, привлекательной форме, аромату, а также очень высокой декоративной ценности, травянистый пион приобрел популярность во всем мире. Являясь значимой декоративной культурой, пион также используется как лекарственное сырье в традиционной медицине. Так, семена древовидных пионов содержат высшие ненасыщенные жирные кислоты ( $\alpha$ -линоленовая, олеиновая, линолевая) и считаются перспективным источником высококачественного пищевого масла (Li et al., 2015a;b). Травянистый пион, имея богатую историю культивирования, представляет интерес как для филогенетических исследований, так и для селекционной работы (Li, 1999). В этой связи актуальной научной задачей является изучение генетического разнообразия существующих сортов. Для ее решения необходим комплексный подход, основанный на использовании классических и молекулярно-генетических методов. Морфофизиологические характеристики растений зависят не только от генотипа, но и от влияния внешней среды, поэтому результаты изучения фенотипа не всегда позволяют получить значимые сведения о генетическом разнообразии и родственных связях внутри вида. В свою очередь, результаты молекулярно-генетических исследований с привлечением ДНК-маркеров считаются более репрезентативными и достоверными (Sun et al., 2011). В настоящее время для изучения генетического разнообразия растений широко применяют маркеры SSR (англ. Simple Sequence Repeats), для разработки которых необходима информация о структуре генома. Однако геном пиона пока еще не изучен. В перспективе изучение транскриптома и секвенирование генома пиона позволит приступить к широкомасштабной разработке SSR-маркеров, а также быстрой идентификации большого количества сайтов однонуклеотидного полиморфизма (SNP, Single Nucleotide Polymorphism) в геноме (Fan et al., 2020; He et al., 2020).

Окраска цветка – один из важнейших признаков пиона, который обеспечивает как декоративную, так и коммерческую ценность этого растения. Антоцианы играют решающую роль в формировании и развитии окраски цветков; их биосинтез регулируется факторами транскрипции, в том числе представителями подсемейства R2R3-MYB. Была доказана роль генов *PsMYB114L* и *PsMYB12L* в регуляции биосинтеза антоцианов у древовидного пиона *P. suffruticosa* Andrews (сорт 'Shima Nishiki') (Zhang et al., 2019). Гены семейства *MYB*, регулирующие синтез антоцианов (*PsMYB114L*, *PsMYB12L*, *PsMYB12*, *PsMYB111*, *PsMYB4*, *PsMYB57* и *PsMYB58*), были найдены у сортов 'Lanhudie' 'Mochi Jinhui' и 'High

Noon' (Shi et al., 2022). Гены *MYB* регулируют экспрессию структурных генов по отдельности или во взаимосвязи с генами суперсемейств *bHLH* и *WD40*. Так, ген *PsMYB12* древовидного пиона регулирует экспрессию структурного гена *PsCHS*, совместно с *bHLH* и *WD40* в составе регуляторного транскрипционного комплекса MYB-bHLH-WD40 (MBW), а затем активирует биосинтез антоцианов, что способствует образованию пятнистости на лепестках цветка (Zhang et al., 2021). Комплексы генов *PsMYB58-PsbHLH1/3* играют важную роль в регуляции окраски цветков древовидного пиона (Zhang et al., 2021). Эти результаты предоставляют ценный ресурс для последующего изучения регуляторных процессов биосинтеза и накопления антоцианов, селекции пионов с применением методов молекулярной биологии, выведения улучшенных сортов с желаемой окраской цветков (Zhang et al., 2019).

**Розы.** Обширный род *Rosa* L. представлен более чем 333 видами и 24 тысячами сортов (Bumbeeva, 2010). По всему миру в садах высаживают более 20 млн розовых кустов в год (Nagar et al., 2007). Это свидетельствует о том, что роза является наиболее популярной и востребованной декоративной культурой. В России масштабное изучение садовых роз началось в 1812 году с основанием Никитского ботанического сада (Klimenko et al., 2019). Несмотря на то, что селекция роз имеет богатую историю, уходящую в глубь веков, создание и продвижение сорта является нелегкой задачей, требующей порядка 6-8 лет кропотливого разведения, отбора и тестирования (Mirich et al., 2021). Решение данной проблемы заключается в применении современных биотехнологических и молекулярно-генетических методов, которые значительно ускоряют создание качественно нового сорта. Среди основных направлений селекции роз – создание сортов растений с различной окраской, формой, степенью махровости цветка; ароматом; длительным, многократным, обильным цветением; устойчивостью к выгоранию цветка; устойчивостью к фитопатогенам; морозостойкостью (Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Rakhmangulov, 2022).

Изучение генетических ресурсов роз носит разносторонний характер. Так, в работах, направленных на увеличение длительности цветения роз, установлено, что сверхэкспрессия генов, кодирующих функциональные (*RhCG6*, *RhCG1*, *RhAG1*) и регуляторные (*RhCG4*) белки, приводит к преждевременному старению лепестков у некоторых сортов (Hajizadeh et al., 2011). Также при изучении устойчивости к возбудителям мучнистой росы (*Podosphaera pannosa* (Wallr.: Fr.) de Bary) и черной пятнистости (*Marssonina rosae* (Lib.) Died.) в геноме роз выявлены гены *Rdr1*, *Rdr2*, *Rpp1*, отвечающие за резистентность к данным фитопатогенам (Linde et al., 2004). Кроме того, актуальным является и повышение морозостойкости роз, кусты которых на большей территории России на зимний период необходимо укрывать. В связи с этим основой для увеличения морозостойкости роз

может послужить изучение роли транскрипционных факторов CBF (C-repeated Binding Factor) – представителей семейства APETALA2/ETHYLENE RESPONSIVE FACTOR (AP2/ERF), гены которого регулируют работу генов холодостойкости *COR* (Cold-Regulated) у растений (Zaikina et al., 2019; Rouet et al., 2022). Известно, что избыточная экспрессия генов кластера *CBF* увеличивает морозостойкость у многих растений, среди которых *A. thaliana*, табак, томат, тополь, картофель, эвкалипт, яблоня и другие (Stockinger et al., 1997; Thomashow, 1999; Hsieh et al., 2002; Fowler, Thomashow, 2002; Benedict et al., 2006; Chinnusamy et al., 2007; Pino et al., 2008; Wisniewski et al., 2011; Navarro et al., 2011; Medina et al., 2011).

Стоит отметить ряд работ, направленных на изучение механизмов регуляции и усиления аромата роз. В частности, была показана роль гена *RhNUDX1*, кодирующего гидролазу семейства NUDIX (Nudix hydrolase), в регуляции биосинтеза гераниола – одного из монотерпенов, отвечающих за аромат цветка; продемонстрирована возможность восстановления (усиления) аромата путем увеличения экспрессии *RhNUDX1* (Magnard et al., 2015). Известно, что виды роз с белыми лепестками содержат наименьшее количество монотерпенов, желтые и бледно-розовые лепестки характеризуются промежуточным содержанием монотерпенов, а розовые лепестки – наибольшим. Обнаружено, что количество гераниола влияет на размеры и продолжительность жизни цветка (Dani et al., 2021). Выявлена взаимосвязь разнообразия цветочного аромата и окраски цветка, биохимические и регуляторные механизмы которых выяснены лишь частично. Так, показано *SPL9* – представитель семейства генов *SQUAMOSA-PROMOTER BINDING PROTEIN-LIKE* (*SPL*), вовлеченных в контроль фундаментальных процессов роста и развития растений (Preston, Hielman, 2013) – оказывает негативное влияние на синтез антоцианов у *A. thaliana* посредством дестабилизации комплекса активации транскрипции MYB-bHLH-WD40 (Gou et al., 2011), а также регулирует выделение терпенсинтаз, влияющих на степень выраженности аромата (Yu et al., 2015). Определена роль регуляторного модуля miR156-SPL9 в скоординированном биосинтезе цианидина, гликозилированные производные которого составляют более 99% от общего количества антоциановых пигментов, а также гермакрена D – летучего органического соединения, вырабатываемого в клетках лепестков сорта 'Old Blush' чайной розы *R. chinensis* Jacq. (Han et al., 2017; Raymond et al., 2018).

Методы редактирования генов с помощью системы CRISPR/Cas пока еще не нашли широкого применения для получения новых форм роз из-за сложности генома и низкой эффективности трансформации. Недавно опубликованы первые результаты по разработке высокоэффективной платформы для геномного редактирования чайно-гибридной розы (*Rosa hybrida*). Таким путем был отредактирован ген *RhEIN2* (*ETHYLENE INSENSITIVE 2*), кодирующий мембранный рецепторный белок – незаме-

нимый компонент пути сигналинга этилена. В результате получены растения, нечувствительные к воздействию этилена (Wang et al., 2022).

**Флокс метельчатый** (*Phlox paniculata* L.) является популярной, широко распространенной и универсальной декоративной культурой. В настоящее время его широко используют для создания бордюров, миксбордеров, цветочных групп и в срезке для создания цветочных композиций. В связи с этим основными задачами селекции и размножения флокса метельчатого является получение широкого ассортимента высокодекоративных, длительно цветущих сортов, устойчивых к выгоранию и длительно сохраняющихся в свежем виде в срезке (Mazaeva, 2018; Khanbabaeva et al., 2019). В настоящее время остро ощущается ограниченность сортамента флокса метельчатого. Сорта, созданные российскими селекционерами, доступны только в ботанических садах или у коллекционеров, тогда как ассортимент, представленный в современных питомниках, ограничивается легко размножаемыми сортами с невысокими декоративными качествами и классической окраской цветка. Кроме того, при традиционных способах размножения в тканях растений накапливается большое количество возбудителей грибных и вирусных заболеваний, что является причиной недостатка качественного посадочного материала этих растений.

Методы клонального микроразмножения садовых растений активно используются по всему миру, давая возможность получать оздоровленный посадочный материал высокого качества. В связи с этим, для флокса метельчатого перспективно разрабатывать элементы технологии размножения растений в культуре тканей, при котором полученные растения генетически идентичны исходному экземпляру. Однако, в настоящее время данная технология не реализует в полной мере потенциал *P. paniculata*, и требует разработки приемов, позволяющих оптимизировать способы введения флокса метельчатого в культуру *in vitro*, условия длительного депонирования, снизить длительность периода субкультивирования микрорастений на этапе мультипликации, а также увеличить коэффициент их размножения, сократить длительность этапа корнеобразования и повысить приживаемость регенерантов на этапе адаптации к нестерильным условиям. Помимо этого, практически нет сведений о развитии растений, полученных в культуре *in vitro*, при дальнейшем выращивании их в условиях открытого грунта.

## ЯГОДНЫЕ КУЛЬТУРЫ

**Актинидия** (род *Actinidia* Lindl.) – сравнительно молодая садовая культура, представленная несколькими экономически важными видами, которые в последнее время успешно выходят на потребительский рынок. Поскольку актинидия является недавно одомашненной культурой, имеющийся сортимент коммерческих сортов представляет собой результаты отбора из дикорастущей

флоры или отбор гибридов первого и второго поколения. В России лишь незначительные территории пригодны для возделывания одного из самых выращиваемых в промышленных масштабах представителя рода *Actinidia* – *A. deliciosa* (A. Chev.) – актинидии деликатесной (киви). Создание сортов с компактной формой, пригодной для возделывания в центральной полосе России, поможет сэкономить на транспортировке плодов киви из субтропиков, а также разнообразить питание населения страны плодами, выращенными на собственной территории. Растение актинидии – крупная древовидная лиана высотой 6-10 м, что делает практически невозможным выращивание ее в защищенном грунте. Знание генетических аспектов формирования архитектуры растений конкретного вида, в частности актинидии деликатесной, повысит эффективность используемых методов. Это позволит сократить время для нахождения генов, редактирование которых будет необходимым и достаточным для изменения формы и размеров растения.

Так, особый интерес представляют члены семейства генов фосфатидил этаноламин-связывающих белков (Phosphatidyl Ethanolamine-Binding Protein, PEBP), которые присутствуют у всех эукариотов и играют центральную роль в процессах морфогенеза растений. Гомологом PEBP у модельного вида *A. thaliana* является белок FLOWERING LOCUS T (FT), который функционирует как активатор цветения и развития цветков, а также TERMINAL FLOWER (TFL) и CENTRORADIALIS (CEN), действующие как репрессоры цветения (Jin et al., 2021; Putterill, Varkonyi-Gasic, 2016).

Чтобы изучить роль FT-подобных генов *AcFT1* и *AcFT2* киви как факторов цветения, кодирующих последовательности, управляемые промотором 35S CaMV, ввели в растения *A. thaliana* дикого типа Col-0. Для каждой конструкции во время цветения оценивали восемь независимых линий. Раннее цветение было отмечено у всех растений с последовательностями *AcFT1* и *AcFT2* (Voogd et al., 2017). В качестве генов интереса также были выбраны гены, участвующие в дифференцировке меристемы, которые являются хорошими кандидатами для изменения архитектуры растения (Melzer et al., 2008). Среди многообразия данных генов были отмечены антагонисты FT-подобных генов, которые являются ключевыми регуляторами времени цветения: TFL1-подобные и (CEN)-подобные. TFL – это предполагаемый регуляторный ген, участвующий в контроле времени цветения и архитектуры цветков (Alvarez et al., 1992; Esumi et al., 2005). Данные гены являются консервативными репрессорами цветения, обладают повышенной экспрессией на кончике побегов (Bradley et al., 1996; 1997; Lifschitz et al., 2014). Семейство PEBP *A. deliciosa* также содержит три гена TFL1 (BFT); кодируемые ими белки образуют отдельную субкладу в линии CEN/TFL1. *A. deliciosa* имеет несколько CEN-подобных генов (Voogd et al., 2017). Гены *AcCEN4* и *AcCEN* характеризуются сравнительно высокими уровнями экспрессии в активно растущих концах побегов

и в пазушных почках (Varkonyi-Gasic et al., 2019), что позволяет рассматривать их в качестве основных кандидатов для регуляции формирования архитектуры растений, а также времени цветения и скорости созревания плодов *A. deliciosa*.

**Виноград** (род *Vitis* L.). Виноград культурный (*V. vinifera* L.) – одна из важнейших сельскохозяйственных культур как в мире, так и в нашей стране. Его ягоды обладают не только прекрасными органолептическими качествами, но и содержат необходимые нутриенты для полноценного питания человека. Промышленное производство винограда культурного сконцентрировано в основном на юге России, и на данный момент селекция направлена на расширение ареала произрастания и повышение устойчивости к биотическим стрессам. Существует довольно большое количество сортов с ценными хозяйственными признаками, однако большинство коммерчески востребованных сортов не обладают устойчивостью к низким температурам. Одним из факторов, ограничивающим рост и урожайность культуры, а также географическое распространение винограда, являются отрицательные температуры. Создание сортов с повышенной холодоустойчивостью поможет увеличить количество посевных площадей и расширить ареал произрастания винограда.

Молекулярно-генетические механизмы ответа растений на воздействия низких температур изучены у пшеницы, риса, яблони и других растений (Zaikina et al. 2019). Так, в исследовании, выполненном на модельном растении *A. thaliana* было показано, что основным ответом на низкотемпературный стресс является активация экспрессии генов регулона *CBF/DREB1* (Dehydration Responsive Elements-Binding proteins). Экспрессия генов *CBF* находится под контролем транскрипционного фактора ICE1 (Inducer of *CBF* Expression), информация о котором записана в ДНК выше по ходу транскрипции. После открытия генов *ICE* у *A. thaliana* их гомологи были обнаружены также в различных видах сельскохозяйственных растений, включая пшеницу, рис, бананы, чай, тройчатые апельсины и виноград. Показано, что ICE-подобные белки, гены которых сверхэкспрессируются в трансгенных растениях, способны повышать устойчивость к абиотическим стрессовым факторам среды. Например, сообщалось, что сверхэкспрессия ICE-подобного гена из винограда амурского (*V. amurensis* Rupr.) в табаке приводит к повышенной холодоустойчивости (Dong et al., 2013).

Гены, кодирующие семейство стресс-ассоциированных белков (Stress-Associated Proteins, SAP), могут реагировать на различные биотические и абиотические стрессовые факторы, и играют важную роль в процессах повышения устойчивости растений к различным стрессовым воздействиям. Shu с соавторами (Shu et al., 2021) изучали защитную функцию гена *VaSAP15* в контроле устойчивости к низким температурам у дикорастущей формы *V. amurensis*. Листья *V. vinifera* у трансгенных линий сорта ‘Thompson Seedless’, которые были получены методом агробактериальной трансформации и характеризова-

лись сверхэкспрессией гена *VaSAP15*, меньше повреждались холодом по сравнению с диким типом. Эти линии отличались пониженным содержанием малонового диальдегида и низкой скоростью выхода электролитов. Уровень экспрессии некоторых генов, ассоциированных с холодоустойчивостью, включая *CBF1*, *CBF2*, *CBF3*, *COR27*, *RD29B* и *NCED1*, оказался повышенным. Устойчивость к холоду, ассоциированная с белком VaSAP15, обеспечивается взаимодействием этого белка с другими партнерами, такими как VaPDII, белковая дисульфид-изомераза, которая модулирует пути сигнальной трансдукции и регулирует ответ генов на холодостресс (Shu et al., 2021).

Референсный геном культурного винограда (Jaillon et al., 2007), служит эффективным биоинформатическим ресурсом для работ в области молекулярной генетики, функциональной геномики и биотехнологии, а в последние годы – основой работ по ре-секвенированию геномов других видов рода *Vitis*. В последние годы успешно разрабатываются подходы к модификации генов винограда с помощью системы геномного редактирования CRISPR/Cas9. Проводятся исследования по оптимизации компонентов системы редактирования (Olivares et al., 2021; Ren et al., 2021); получены первые практические результаты. С помощью универсального вектора на основе репликона гермивируса (pGMV-U) получены крупные делеции в генах винограда, вовлеченных в контроль устойчивости к грибным патогенам. С целью выяснения роли белка PR4, связанного с устойчивостью к возбудителю милдью – оомицету *Plasmopara viticola* Berl. et de T., с помощью системы CRISPR/Cas9 у сорта ‘Thompson Seedless’ была получена серия мутантных линий, у которых функция гена *VvPR4* утрачена в результате нокаута (Li et al., 2020).

**Ежевика** (род *Rubus* L., подрод *Eubatus* Focke) относится к числу малораспространенных на территории России ягодных культур (Gruner, 1987; 2014). Ягоды ежевики обладают богатым составом биологически активных веществ, среди которых обнаружены сахара (5,1-13%), органические кислоты (0,5-1,5%), пектиновые вещества (1,8%), клетчатка (2-4%), а также витамины С, В, РР, Е и другие (Gruner, 1986; Cho et al., 2004).

Побеги большинства представителей подрода *Eubatus* подмерзают при зимовке, в связи с чем важной задачей селекции ежевики является создание зимостойких сортов. Однако сортовое разнообразие ежевики с генетически обусловленной морозоустойчивостью невелико (Gruner et al., 2018; Evdokimenko, Kulagina, 2015). В данном контексте перспективным видится проведение исследований морозостойкости ежевики, обусловленной экспрессией генов *CBF*, которые кодируют факторы транскрипции AP2/ERF – ключевые регуляторы ответа растений на воздействие стрессовых факторов среды (Thomashow, 1999; Medina et al., 2011).

Значимую роль в селекции ежевики играет создание бесшипных сортов (Gruner, Kornilov, 2020). Шипы

ежевика являются видоизмененными трихомами, которые продолжают расти и в итоге затвердевают, образуя колючки в виде разрастаний эпидермальной ткани (Kellogg et al., 2011). Роль гена *TTG1* (*Transparent Testa Glabral*), кодирующего транскрипционный фактор суперсемейства WD 40, в контроле развития трихом продемонстрирована для *A. thaliana* (Szymanski et al., 2000), *Rosa roxburghii* Tratt. (Huang et al., 2022), *R. rugosa* Thunb. (Wang et al., 2019), *Cucumis sativus* L. и других двудольных растений (Shvachko et al., 2020). Ген *TTG1* является регулятором многих процессов у растений, в том числе специализации клеток, вторичного метаболизма, накопления запасных веществ, реакции на биотические и абиотические стрессорные факторы, а также времени цветения. К настоящему времени известно 23 рецессивные мутации в локусе *TTG1* *A. thaliana* (инсерции, делеции, стоп-кодоны), большинство из которых обуславливают «гладкий» фенотип (Tian, Wang, 2020). Следовательно, создание форм ежевики с «бесшипным» фенотипом возможно путем получения рецессивных мутаций *tgl1*.

**Земляника садовая *F. ×ananassa*** является одной из важнейших ягодных культур, наиболее востребованных плодовых растений благодаря высокому уровню транспортабельности, вкусовым качествам, а также скороспелости и лечебно-профилактическим свойствам ягод. Земляника – уникальная культура, ягоды которой активно употребляются в пищу, богаты витаминами и антиоксидантами, а также привлекают внимание потребителей красивым и ярким внешним видом.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) (ФАО, 2022) в 2021 году лидерами по валовому сбору урожая земляники являлись: 1 место – США (605787 кг/га), 2 место – Нидерланды (557338 кг/га), 3 место – Марокко (502941 кг/га). Основными экспортёрами земляники в 2020 году были Испания (23% мирового экспорта), Мексика (20%), США (16,5%), Нидерланды (11,9%), Бельгия (6,3%). Россия в данном списке занимает 48 место с долей экспорта менее 0,1%. На территории нашей страны общая площадь насаждений земляники составляет

свыше 30 тыс. га, наибольший процент от этих площадей составляют приусадебные и дачные участки. Благодаря высокому адаптивному потенциалу землянику можно успешно выращивать в разных почвенно-климатических регионах. В последние годы приоритетными направлениями в селекции являются: улучшение транспортабельности плодов, повышение морозостойкости, засухоустойчивости, устойчивости к болезням. К сожалению, плоды, имеющие долгую лежкость, теряют свои вкусовые и ароматические качества. Поэтому актуально улучшение вкусовых качеств ягод у современных промышленных сортов *F. ×ananassa* путем геномного редактирования.

Одним из показателей вкусового комплекса земляники является уровень сладости плода – сахаристость. Согласно современным исследованиям, гены, участвующие в метаболизме сахаров, можно отнести к трем основным семействам: гены, связанные с транспортом сахаров, с синтезом и деградацией сахарозы (Lee et al., 2018). Известен ключевой ген, контролирующий накопление сахарозы – *FaSPS3* (*Sucrose-6-Phosphate Synthase 3*). В то же время ген *FaMYB44.2* на ранних этапах созревания плодов негативно регулирует накопление сахаров в плодах, подавляя экспрессию гена *FaSPS3*. Далее при созревании ягод в работу включается *FaMYB10*, который снижает экспрессию *FaMYB44.2*, что приводит к накоплению сахарозы в спелых плодах земляники (Wei et al., 2018).

Работы по редактированию генов октоплоидной земляники пока еще носят поисковый характер. Так, недавно с помощью системы CRISPR/Cas9 получена серия биаллельных мутантов по модельному гену *PDS*, который кодирует фермент фитоен-десатуразу, участвующую в синтезе каротиноидов. Нарушения последовательности гена приводили к изменению структуры белка и были связаны с характерным фенотипом “albino” (Wilson et al., 2019).

Информация об основных группах генов, контролируемых важные биологические и хозяйственно ценные признаки обсуждаемых в обзоре декоративных и ягодных растений, представлена в таблице.

**Таблица. Основные гены, вовлеченные в контроль важных биологических и хозяйственно ценных признаков у декоративных и плодовых растений**

**Table. The main genes involved in the control of important biological and agronomical characters of ornamental and berry crops**

Группа генов/ Group of genes	Род, вид/ Genus, species						
	<i>Antirrhinum majus</i> L.	<i>Paeonia</i> L.	<i>Rosa</i> L.	<i>Actinidia</i> L.	<i>Vitis</i> L.	<i>Rubus</i> subg. <i>Eubatus</i> Focke	<i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> Weston) Duchesne ex Rozier
MBW (MYB, bHLH и WD40)	<i>R2R3-MYB</i> , <i>CHI</i> , <i>CHS</i> , <i>DFR</i> , <i>F3H</i> , <i>F3'H</i> , <i>F3'H</i> , <i>F3'5'H</i>	<i>PsMYB114L</i> , <i>PsMYB12L</i> , <i>PsMYB12</i> , <i>PsMYB111</i> , <i>PsMYB4</i> , <i>PsMYB57</i> и <i>PsMYB58</i>	-	-	<i>CBF1</i>	<i>CBF1</i> , <i>CBF2</i> , <i>CBF3</i> , <i>TTG1</i>	<i>FaSPS3</i> , <i>FaMYB44.2</i>
NUDX1	-	-	<i>RhNUDX1</i>	-	-	-	-
SPL9	-	-	<i>SPL9</i>	-	-	-	-
PEBP	-	-	-	<i>FT</i> -подобные, <i>TFL1</i> -подобные и <i>CEN</i> -подобные гены	-	<i>RoBFT</i>	-
SAP	-	-	-	-	<i>VaSAP15</i>	-	-
SAG	-	-	<i>RhCG4</i> , <i>RhCG6</i> , <i>RhCG1</i> , <i>RhAG1</i>	-	-	-	-

## Заключение

Выведение конкурентноспособных сортов традиционными методами – чрезвычайно длительный процесс, потенциал которого зачастую ограничен внутри- и межвидовой изменчивостью. В рамках работы лаборатории поставлены цели и задачи для интенсификации селекционного процесса по вышеназванным декоративным и ягодным культурам. Биотехнологические и молекулярно-генетические методы, в том числе и геномное редактирование являются перспективным набором инструментов для улучшения хозяйственно-ценных признаков изучаемых культур. В то же время, необходимо наличие информации не только о структуре генома, но и о функциональности отдельных генов. Поиск генов-мишеней для внесения точечных мутаций является фундаментальной задачей. Проведение прикладных исследований генетических ресурсов растений, направленных на выделение и создание новых форм растений, устойчивых к различным биотическим и абиотическим стрессам, преодоление нескрещиваемости отдаленных видов и родов для дальнейшего проведения широких генетических и селекционных исследований, послужит основой для получения конкурентноспособных отечественных сортов декоративных и ягодных культур.

## References/Литература

- Alvarez J., Guli C.L., Yu X.H., Smyth D.R. *terminal flower*: a gene affecting inflorescence development in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*. 1992;2(1):103-116. DOI: 10.1111/j.1365-313X.1992.00103.x
- Benedict C., Skinner J.S., Meng R., Chang Y., Bhalerao R., Huner N.P.A., Finn C.E., Chen T.H.H., Hurry V. The CBF1-dependent low temperature signalling pathway, regulon and increase in freeze tolerance are conserved in *Populus spp.* *Plant Cell and Environment*. 2006;29(7):1259-1272. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2006.01505.x
- Bradley D., Carpenter R., Copsey L., Vincent C., Rothstein S., Coen E. Control of inflorescence architecture in *Antirrhinum*. *Nature*. 1996;379(6568):791-797. DOI: 10.1038/379791a0
- Bradley D., Ratcliffe O., Vincent C., Carpenter R., Coen E. Inflorescence commitment and architecture in *Arabidopsis*. *Science*. 1997;275(5296):80-83. DOI: 10.1126/science.275.5296.80
- Bumbeeva L.I. *Roses (Rozy)*. Moscow: Kladez Buks; 2010. [In Russian] (Бумбеева Л.И. Розы. Москва: Кладезь Букс; 2010).
- Chinnusamy V, Zhu J, Zhu J.K. Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends in Plant Science*. 2007;12:444-451. DOI: 10.1016/j.tplants.2007.07.002
- Cho M.J., Howard L.R., Prior R.L., Clark J.R. Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2004;84:1771-1782. DOI: 10.1002/jsfa.1885
- Coen E.S., Carpenter R., Martin C. Transposable elements generate novel spatial patterns of gene expression in *Antirrhinum majus*. *Cell*. 1986;47(2):285-296. DOI: 10.1016/0092-8674(86)90451-4

- Dani K.G.S., Fineschi S., Michelozzi M., Trivellini A., Pollastri S., Loreto F. Diversification of petal monoterpene profiles during floral development and senescence in wild roses: relationships among geraniol content, petal colour, and foral lifespan. *Oecologia*. 2021;197:957-969. DOI: 10.1007/s00442-020-04710-z
- Dong C., Zhang Z., Ren J., Qin Y., Huang J., Wang Y., Cai B., Wang B., Tao J. Stress-responsive gene *ICE1* from *Vitis amurensis* increases cold tolerance in tobacco. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2013;71:212-217. DOI: 10.1016/j.plaphy.2013.07.012
- Esumi T., Tao R., Yonemori K. Isolation of *LEAFY* and *TERMINAL FLOWER 1* homologs from six fruit tree species in the subfamily Maloideae of the Rosaceae. *Sexual Plant Reproduction*. 2005;17(6):277-287. DOI: 10.1007/s00497-004-0239-3
- Evdokimenko S.N., Kulagina V.L. Evaluation of blackberry varieties and raspberry-blackberry hybrids in conditions of the Bryansk Region. *Horticulture and viticulture*. 2015;4:20-23. [in Russian] (Евдокименко С.Н., Кулагина В.Л. Оценка сортов ежевики и малино-ежевичных гибридов в условиях Брянской области. *Садоводство и виноградарство*. 2015;4:20-23).
- Fan Y., Wang Q., Dong Z., Yin Y., Teixeira da Silva J.A., Yu X. Advances in molecular biology of *Paeonia* L. *Planta*. 2020;251:23. DOI: 10.1007/s00425-019-03299-9
- Fowler S., Thomashow M.F. Arabidopsis transcriptome profiling indicates that multiple regulatory pathways are activated during cold acclimation in addition to the CBF cold response pathway. *Plant Cell*. 2002;14:1675-1690. DOI: 10.1105/tpc.003483
- Gou J.Y., Felippes F.F., Liu C.J., Weigel D., Wang J.W. Negative regulation of anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis* by a miR156-targeted SPL transcription factor. *Plant Cell*. 2011;23:1512-1522. DOI: 10.1105/tpc.111.084525
- Gruner L.A. Winter hardiness of blackberries in the Foothill zone of the Caucasus. *Bulletin of applied botany, genetics and plant breeding*. 1986;106:85-86. [in Russian] (Грюнер Л.А. Зимостойкость ежевики в предгорной зоне Кавказа. *Сборник научных трудов по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1986;106:85-86).
- Gruner L.A. Blackberry – a valuable plant (Yezhevika – tsennoye rasteniye). *Nature Protection of Adygea = Ohrana prirody Adygei*. 1987;(3):83-85. [in Russian] (Грюнер Л.А. Ежевика – ценное растение. *Охрана природы Адыгеи*. 1987;(3):83-85).
- Gruner L.A., Knyazev S.D., Kuleshova O.V. Elements of blackberry growing technology in conditions of Orel region. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 1918;(4):31-34. [in Russian] (Грюнер Л.А., Князев С.Д., Кулешова О.В. Элементы технологии выращивания ежевики в условиях Орловской области. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018;(4):31-34). DOI: 10.30850/vrsn/2018/4/31-34
- Gruner L.A., Kornilov B.B. Priority trends and prospects of blackberry breeding in conditions of Central Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(5):489-500. [in Russian] (Грюнер Л.А., Корнилов Б.Б. Приоритетные направления и перспективы селекции ежевики в условиях средней полосы России. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;24(5):489-500). DOI: 10.18699/VJ20.641
- Gruner L.A. Blackberries (Yezhevika). In: E.N. Sedov, L.A. Gruner (eds.). *Pomology. Vol 5. Strawberries, Raspberries, Nut and Rare Crops*. Orel: VNIISPK; 2014. p.300-308. [in Russian] (Грюнер Л.А. Ежевика. В кн.: *Помология. Т.5 Земляника. Малина. Орехоплодные и редкие культуры* / под ред. Е.Н. Седова, Л.А. Грюнер. Оrel: ВНИИСПК; 2014. С.300-308).
- Hajizadeh H., Razavi Kh., Mostofi Y., Mousavi A., Cacco G., Zamani Z., Stevanato P. Identification and characterization of genes differentially displayed in *Rosa hybrida* petals during flower senescence. *Scientia Horticulturae*. 2011;128:320-324. DOI: 10.1016/j.scienta.2011.01.026
- Han Y., Wang H., Cheng T., Wang J., Yang W., Pan H., Zhang Q. Comparative RNA-seq analysis of transcriptome dynamics during petal development in *Rosa chinensis*. *Scientific Reports*. 2017;7:1-14. DOI: 10.1038/srep43382
- He D, Zhang J., Zhang X., He S., Xie D., Liu Y., Li C., Wang Z., Liu Y. Development of SSR markers in *Paeonia* based on De Novo transcriptomic assemblies. *PLoS ONE*. 2020;15(1):e0227794. DOI: 10.1371/journal.pone.0227794
- Hehl R., Sommer H., Saedler H. Interaction between the *Tam1* and *Tam2* transposable elements of *Antirrhinum majus*. *Molecular and General Genetics*. 1987;207(1):47-53. DOI: 10.1007/bf00331489
- Hsieh T.-H., Lee J.-t., Yang P.-T., Charmg Y.-Y., Chan M.-T. Tomato plants ectopically expressing arabidopsis *CBF1* show enhanced resistance to water deficit stress. *Plant Physiology*. 2002;130(2):618-626. DOI: 10.1104/pp.006783
- Huang X., Yi P., Liu Y., Li Q., Jiang Y., Yi Y., Yan H. RrTTG1 promotes fruit prickles development through an MBW complex in *Rosa roxburghii*. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:939270. DOI: 10.3389/fpls.2022.939270
- Ishiguro K., Taniguchi M., Tanaka Y. Functional analysis of *Antirrhinum kelloggii* flavonoid 3'-hydroxylase and flavonoid 3',5'-hydroxylase genes; critical role in flower color and evolution in the genus *Antirrhinum*. *Journal of Plant Research*. 2012;125:451-456. DOI: 10.1007/s10265-011-0455-5
- Jaillon O., Aury J.M., Noel B., Policriti A., Clepet C., Casagrande A., Choise N., Aubourg S., Vitulo N., Jubin C., Vezzi A., Legeai F., Huguency P., Dasilva C., Horner D., Mica E., Jublot D., Poulain J., Bruyère C., Billault A., Segurens B., Gouyvenoux M., Ugarte E., Cattonaro F., Anthouard V., Vico V., Del Fabbro C., Alaux M., Di Gaspero G., Dumas V., Felice N., Paillard S., Juman I., Moroldo M., Scalabrin S., Canaguier A., Le Clainche I., Malacrida G., Durand E., Pesole G., Laucou V., Chatelet P., Merdinoglu D., Delledonne M., Pezzotti M., Lecharny A., Scarpelli C., Artiguenave F., Pè M.E., Valle G., Morgante M., Caboche M., Adam-Blondon A.F., Weissenbach J., Quétier F., Wincker P., French-Italian Public Consortium for Grapevine Genome Characterization. The grapevine genome sequence suggests ancestral hexaploidization in major angiosperm phyla. *Nature*. 2007;449:463-467. DOI: 10.1038/nature06148
- Jin S., Nasim Z., Susila H., Ahn J.H. Evolution and functional diversification of *FLOWERING LOCUS T/TERMINAL FLOWER 1* family genes in plants. *Seminars in Cell and Developmental Biology*. 2021;109:20-30. DOI: 10.1016/j.semcdb.2020.05.007
- Kellogg A.A., Branaman T.J., Jones N.M., Little C.Z., Swanson J.-D. Morphological studies of developing *Rubus* prickles suggest that they are modified glandular trichomes. *Botany*. 2011;89:217-226. DOI: 10.1139/b11-008
- Khanbabaeva O.E., Bogdanova V.D., Zarenkova E.G. Studying of flowering and pollination biology of dwarf snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) varieties and lines. *Izvestia of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(5):92-100. [in Russian] (Ханбабаева О.Е., Богданова В.Д., Заренкова Е.Г. Изучение биологии цветения и опыления сортов и линий карликового львиного зева (*Antirrhinum majus* L.). *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2013;(5):92-100).
- Khanbabaeva O.E., Mantseva A.E., Mazaeva A.S., Sorokopudov V.N. The use of wild medicinal plants in the landscape construction of the city of Moscow. *The Earth*. 2019;(2):32-39. [in Russian] (Ханбабаева О.Е., Мазаева А.С., Манцева А.Е., Сорокопудов В.Н. Использование дикорастущих лекарственных растений в ландшафтном строительстве города Москвы. *Земля*. 2019;(2):32-39).
- Khlestkina E.K., Shumny V.K. Prospects for application of breakthrough technologies in breeding: The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing. *Russian Journal of Genetics*. 2016;52(7):676-687. DOI: 10.1134/S102279541607005X
- Klimenko Z.K., Plugatar Yu.V., Plugatar S.A., Zykova V.K. The main directions of the breeding of garden roses in the southern coast of the Crimea. *Vegetable crops of Russia*. 2019;3(47):30-34. [in Russian] (Клименко З.К., Плуатарь Ю.В., Плуатарь С.А., Зыкова В.К. Основные направления селекционной работы с садовыми розами в условиях южного берега Крыма. *Овощи России*. 2019;3(47):30-34). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-3-30-34
- Kuluev B.R., Gerashchenkov G.A., Rozhnova N.A., Baymiev An. Kh., Verшинina Z.R., Knyazev A.V., Matniyazov R.T., Gumerova G.R., Mikhailova E.V., Nikonorov Yu.M., Chemeris D.A., Baymiev A.I.Kh., Chemeris A.V. CRISPR/Cas genome editing of plants. *Biomics*. 2017;9(3):155-182. [in Russian]

- (Кулуев Б.Р., Герашенков Г.А., Рожнова Н.А., Баймиев А.Х., Вершинина З.Р., Князев А.В., Матнязов Р.Т., Гумерова Г.Р., Михайлова Е.В., Никоноров Ю.М., Чемерис Д.А., Баймиев А.Х., Чемерис А.В. CRISPR/Cas редактирование геномов растений *Биомика*. 2017;9(3):155-182). DOI: 10.1007/s00299-020-02573-5
- Lee J., Kim H.-B., Noh Y.-H., Min S.R., Lee H.-S., Jung J., Park K.-H., Kim D.-S., Nam M.H., Kim T.I., Kim S.-J., Kim H.R. Sugar content and expression of sugar metabolism-related gene in strawberry fruits from various cultivars. *Journal of Plant Biotechnology*. 2018;45(2):90-101. DOI: 10.5010/JPB.2018.45.2.090
- Li J.Y. Tree peony and herbaceous peony of China. Beijing: China's Forestry Press; 1999. [in Chinese].
- Li M., Zhang D., Gao Q., Luo Y., Zhang H., Ma B., Chen C., Whibley A., Zhang Yu., Cao Y., Li Q., Guo H., Li J., Song Y., Zhang Y., Copey L., Li Y., Li X., Qi M., Wang J., Chen Y., Wang D., Zhao J., Liu G., Wu B., Yu L., Xu C., Li J., Zhao S., Zhang Yi., Hu S., Liang C., Yin Y., Coen E., Xue Y. Genome structure and evolution of *Antirrhinum majus* L. *Nature Plants*. 2019;5:174-183. DOI: 10.1038/s41477-018-0349-9
- Li M.-Y., Jiao Y.-T., Wang Y.-T., Zhang N., Wang B.-B., Liu R., Yin X., Xu Y., Liu G.-T. CRISPR/Cas9-mediated *VvPR4b* editing decreases downy mildew resistance in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Horticulture Research*. 2020;7:149. DOI: 10.1038/s41438-020-00371-4
- Li S.-S., Wang L.-S., Shu Q.-Y., Wu J., Chen L.-G., Shao S., Yin D.-D. Fatty acid composition of developing tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) seeds and transcriptome analysis during seed development. *BMC Genomics*. 2015a;16:208. DOI: 10.1186/s12864-015-1429-0
- Li S.-S., Yuan R.-Y., Chen L.-G., Wang L.-S., Hao X.-H., Wang L.-J., Du H. Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia* section *Moutan* DC.) cultivars by GC-MS. *Food Chemistry*. 2015b;173:133-140. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.017
- Lifschitz E., Ayre B.G., Eshed Y. Florigen and anti-florigen – a systemic mechanism for coordinating growth and termination in flowering plants. *Frontiers in Plant Science*. 2014;5:465. DOI: 10.3389/fpls.2014.00465
- Linde M., Hattendorf A., Mattiesh L., Debener T. Genetic analysis of rose resistance genes and their localisations in the rose genome. *Acta Horticulturae*. 2004;651:123-130. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.651.14
- Magnard J.-L., Roccaia A., Caissard J.-C., Vergne P., Sun P., Hecquet R., Dubois A., Oyant L.H.-S., Jullien F., Nicolè F., Raymond O., Huguet S., Baltenweck R., Meyer S., Claudel P., Jeauffre J., Rohmer M., Foucher F., Huguency P., Bendahmane M., Baudino S. Biosynthesis of monoterpene scent compounds in roses. *Science*. 2015;349:81-83. DOI: 10.1126/science.aab0696
- Martin C., Carpenter R., Sommer H., Saedler H., Coen E.S. Molecular analysis of instability in flower pigmentation of *Antirrhinum majus*, following isolation of the *pallida* locus by transposon tagging. *The EMBO Journal*. 1985;4(7):1625-1630. DOI: 10.1002/j.1460-2075.1985.tb03829.x
- Mazaeva A.S. Agronomy of the Phlox panicum (*Phlox paniculata* L.) (Агротехника флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.)) *Vestnik Landshaftnoy arhitektury = Landscape Architecture Bulletin*. 2018;(15):44-46. [in Russian] (Мазеева А.С. Агротехника флокса метельчатого (*Phlox paniculata* L.)). *Вестник ландшафтной архитектуры* 2018;(15):44-46).
- Medina J., Catala R., Salinas J. The CBFs: three Arabidopsis transcription factors to cold acclimate. *Plant Science*. 2011;180:3-11. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.06.019
- Medvedeva N.I., Buntsevich L.L., Mokhno V.S. The use of methods *in vitro* in breeding of orchard and flower-ornamental crops (Ispolzovanie metodov *in vitro* v selektsii plodovykh i tsvetochno-dekorativnykh kultur). *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2012;15(3):1-11. [in Russian] (Медведева Н.И., Бунцевич Л.Л., Мокно В.С. Использование методов *in vitro* в селекции плодовых и цветочно-декоративных культур. *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2012;15(3):1-11).
- Melzer S., Lens F., Gennen J., Vanneste S., Rohde A., Beeckman T. Flowering-time genes modulate meristem determinacy and growth form in *Arabidopsis thaliana*. *Nature Genetic*. 2008;40(12):1489-1492. DOI: 10.1038/ng.253
- Mirich M., Gigel M., Skazka M. Culinary Roses. The best varieties for cooking unusual dishes. (Kulinarnye rozy. Luchshiy sorta dlya prigotovleniya neobychnykh blyud) *Zdoroviy obraz myshleniya = A healthy way of thinking*. 2021;4(17):14-15. [in Russian] (Мирич М., Гигел М., Сказка М. Кулинарные розы. Лучшие сорта для приготовления необычных блюд. *Здоровый образ мышления*. 2021;4(17):14-15).
- Nagar P.K., Sharma M., Pati P.K., Ahuja P.S. Rose: some important finding with special reference to physiology of flowering. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*. 2007;1(2):102-114.
- Nassour R., Ayash A., Al-Tameemi K. Anthocyanin pigments: structure and biological importance. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 2020;13(4):45-57.
- Navarro M., Ayax C., Martinez Y., Laur J., Kayal W.E., Marque C., Teulieres C. Two *EgucBFL1* genes overexpressed in *Eucalyptus* display a different impact on stress tolerance and plant development. *Plant Biotechnology Journal*. 2011;9:50-63. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2010.00530.x
- Olivares F., Loyola R., Olmedo B., Miccono M.A., Aguirre C., Vergara R., Riquelme D., Madrid G., Plantat P., Mora R., Espinoza D., Prieto H. CRISPR/Cas9 targeted editing of genes associated with fungal susceptibility in *Vitis vinifera* L. cv. Thompson Seedless using geminivirus-derived replicons. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:791030. DOI: 10.3389/fpls.2021.791030
- Pankin A.A., Vorobiev V.A., Khavkin E.E. Polymorphism of intron 2 of the *FLORICAULA/LEAFY* gene in *Brassica* plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2008;55(4):507-512. DOI: 10.1134/s1021443708040122
- Pino M.T., Skinner J.S., Jeknic Z., Hayes P.M., Soeldner A.H., Thomashow M.F., Chen T.H.H. Ectopic *AtCBFL1* over-expression enhances freezing tolerance and induces cold acclimation-associated physiological modifications in potato. *Plant Cell and Environment*. 2008;31(4):393-406. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2008.01776.x
- Preston J.C., Hielman L.C. Functional evolution in the plant *SQUAMOSA-PROMOTER BINDING PROTEIN-LIKE (SPL)* gene family. *Frontiers in Plant Science*. 2013;4:80. DOI: 10.3389/fpls.2013.00080
- Putterill J., Varkonyi-Gasic E. *FT* and florigen long-distance flowering control in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 2016;33:77-82. DOI: 10.1016/j.pbi.2016.06.008
- Rakhmangulov R.S. Application of the CRISPR/Cas system for gene editing in ornamental crops. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(3):33-41. [in Russian] (Рахмангулов Р.С. Применение системы CRISPR/Cas для редактирования генов декоративных культур. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(3):33-41). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-01
- Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G. Breeding of ornamental plants in Russia. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):40-54. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г. Селекция декоративных растений в России. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):40-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-04
- Raymond O., Gouzy J., Just J., Badouin H., Verdenaud M., Lemainque A., Vergne P., Moja S., Choisine N., Pont C., Carrère S., Caissard J.-C., Couloux A., Cottret L., Aury J.-M., Szécsi J., Latrasse D., Madoui M.-A., François L., Fu X., Yang S.-H., Dubois A., Piola F., Larrieu A., Perez M., Labadie K., Perrier L., Govetto B., Labrousse Y., Villand P., Bardoux C., Boltz V., Lopez-Roques C., Heitzler P., Vernoux T., Vandenbussche M., Quesneville H., Boualem A., Bendahmane A., Liu C., Le Bris M., Salse J., Baudino S., Benhamed M., Wincker P., Bendahmane M. The *Rosa* genome provides new insights into the domestication of modern roses. *Nature Genetics*. 2018;50:772-777. DOI: 10.1038/s41588-018-0110-3
- Ren C., Liu Y., Guo Y., Duan W., Fan P., Li S., Liang Z., Optimizing the CRISPR/Cas9 system for genome editing in grape by using grape promoters. *Horticulture Research*. 2021;8:52. DOI: 10.1038/s41438-021-00489-z
- Rouet C., O'Neill J., Banks T., Tanino K., Derivy E., Somers D., Lee E.A. Mapping winterhardiness in garden roses. *Journal of*

- the American Society for Horticultural Science. 2022;147(4):37. DOI: 10.21273/JASHS05189-22
- Schwarz-Sommer Z., Davies B., Hudson A. An everlasting pioneer: the story of *Antirrhinum* research. *Nature Reviews Genetics*. 2003;4:655-664. DOI: 10.1038/nrg1127
- Schwinn K., Venail J., Shang Y., Mackay S., Alm V., Butelli E., Oyama R., Bailey P., Davies K., Martin C. A small family of MYB-regulatory genes controls floral pigmentation intensity and patterning in the genus *Antirrhinum*. *The Plant Cell*. 2006;18(4):831-851. DOI: 10.1105/tpc.105.039255
- Shi Q., Yuan M., Wang S., Luo X., Luo S., Fu Y., Li X., Zhang Y., Li L. *PrMYB5* activates anthocyanin biosynthetic *PrDFR* to promote the distinct pigmentation pattern in the petal of *Paeonia rockii*. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:955590. DOI: 10.3389/fpls.2022.955590
- Shvachko N.A., Semilet T.V., Tikhonova N.G. Trichomes of higher plants: homologous series in hereditary variability and molecular genetic mechanisms. *Russian Journal of Genetics*. 2020;56(11):1359-1370. DOI: 10.1134/S1022795420110083
- Shu X., Ding L., Gu B., Zhang H., Guan P., Zhang J. A stress associated protein from Chinese wild *Vitis amurensis*, VaSAP15, enhances the cold tolerance of transgenic grapes. *Scientia Horticulturae*. 2021;285:110147. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110147
- Sommer H., Carpenter R., Harrison B.J., Saedler H. The transposable element *Tam3* of *Antirrhinum majus* generates a novel type of sequence alterations upon excision. *Molecular Genetics and Genomics*. 1985;199:225-231. DOI: 10.1007/BF00330263
- Stockinger E.J., Gilmour S.J., Thomashow M.F. *Arabidopsis thaliana* *CBF1* encodes an AP2 domain-containing transcriptional activator that binds to the C-repeat/DRE, a cis-acting DNA regulatory element that stimulates transcription in response to low temperature and water deficit. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1997;94:1035-1040. DOI: 10.1073/pnas.94.3.103
- Sun X.M., Gao H.D., Zhou W.Q., Yang H.G., Zhang M.M., Wang D. A research on the comprehensive evaluation method in *Paeonia*. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2011;8(1):216-221.
- Szymanski D.B., Lloyd A.M., Marks M.D. Progress in the molecular genetic analysis of trichome initiation and morphogenesis in *Arabidopsis*. *Trends in Plant Science*. 2000;5(5):214-219. DOI: 10.1016/S1360-1385(00)01597-1
- Thomashow M.F. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1999;50:571-599. DOI: 10.1146/annurev.arplant.50.1.571
- Tian T., Wang S. TRANSPARENT TESTA GLABRA1, a key regulator in plants with multiple roles and multiple function mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21:4881. DOI: 10.3390/ijms21144881
- Varkonyi-Gasic E., Wang T., Voogd C., Jeon S., Drummond R.S.M., Gleave A.P., Allan A.C. Mutagenesis of kiwifruit *CENTRORADIALIS*-like genes transforms a climbing woody perennial with long juvenility and axillary flowering into a compact plant with rapid terminal flowering. *Plant Biotechnology Journal*. 2019;17(5):869-880. DOI: 10.1111/pbi.13021
- Voogd C., Brian L.A., Wang T., Allan A.C., Varkonyi-Gasic E. Three *FT* and multiple *CEN* and *BFT* genes regulate maturity, flowering, and vegetative phenology in kiwifruit. *Journal of Experimental Botany*. 2017;68(7):1539-1553. DOI: 10.1093/jxb/erx044
- Wang C., Li Y., Wang N., Yu Q., Li Y., Gao J., Zhou X., Ma N. An efficient CRISPR/Cas9 platform for targeted genome editing in rose (*Rosa hybrida*). *Journal of Integrative Biology*. 2022. DOI: 10.1111/jipb.13421
- Wang Y., Zhao M., Xu Z., Zhao L., Han X. Cloning and expression analysis of *TTGI* gene related to *Rosa rugosa* trichomes formation. *American Journal of Plant Sciences*. 2019;10(2):265-275. DOI: 10.4236/ajps.2019.102020
- Wei L., Mao W., Jia M., Xing S., Ali U., Zhao Y., Chen Y., Cao M., Dai Z., Zhang K., Dou Z., Jia W., Li B. *FaMYB44.2*, a transcriptional repressor, negatively regulates sucrose accumulation in strawberry receptacles through interplay with *FaMYB10*. *Journal of Experimental Botany*. 2018;69(20):4805-4820. DOI: 10.1093/jxb/ery249
- Wilson F.M., Harrison K., Armitage A.D., Simkin A.J., Harrison R.J. CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of phytoene desaturase in diploid and octoploid strawberry. *Plant Methods*. 2019;15:45. DOI: 10.1186/s13007-019-0428-6
- Wisniewski M., Basset L.M., Norelli J.L., Macarisin D. Ectopic expression of a novel peach (*Prunus persica*) *CBF* transcription factor in apple (*Malus × domestica*) results in short-day induced dormancy and increased cold hardiness. *Planta*. 2011;233(5):971-983 DOI: 10.1007/s00425-011-1358-3
- Yu Z.X., Wang L.-J., Zao B., Shan Ch.-M., Zhang Y.-H., Chen D.-F., Chen X.-Y. Progressive regulation of sesquiterpene biosynthesis in *Arabidopsis* and *Patchouli* (*Pogostemon cablin*) by the miR156-targeted SPL transcription factors. *Molecular Plant*. 2015;8(1):98-110. DOI: 10.1093/mp/ssl27
- Zaikina E.A., Rummyantsev S.D., Sarvarova E.R., Kuluev B.R. Transcription factor genes involved in plant response to abiotic stress factors. *Ecological Genetics*. 2019;17(3):47-58. [In Russian] (Заикина Е.А., Румянцев С.Д., Сарварова Е.Р., Кулуев Б.Р. Гены транскрипционных факторов, задействованных в ответе растений на абиотические стрессовые факторы. *Экологическая генетика*. 2019;17(3):47-58). DOI: 10.17816/ecogen17347-58
- Zhang X., Xu Z., Yu X., Zhao L., Zhao M., Han X., Qi S. Identification of two novel *R2R3-MYB* transcription factors, *PsMYB114L* and *PsMYB12L*, related to anthocyanin biosynthesis in *Paeonia suffruticosa*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(5):1055. DOI: 10.3390/ijms20051055
- Zhang Y., Xu S., Ma H., Duan H., Gao S., Zhou X., Cheng Y. The *R2R3-MYB* gene *PsMYB58* positively regulates anthocyanin biosynthesis in tree peony flowers. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021;164:279-288. DOI: 10.1016/j.plaphy.2021.04.034

### Информация об авторах

**Руслан Султанович Рахмангулов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, r.rakhmangulov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1200-3113>

**Иван Владимирович Барабанов**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.barabanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7793-9823>

**Мария Викторовна Ерастенкова**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, m.erastenkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7328-437X>

**Александр Александрович Иванов**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.ivanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9055-0986>

**Татьяна Владимировна Коваленко**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, t.kovalenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9055-0986>

культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, t.kovalenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6915-8760>

**Ксения Максимовна Межина**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, k.mezhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1587-2608>

**Игорь Александрович Петросян**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.petrosyan@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8069>

**Анастасия Анатольевна Харченко**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.kharchenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

**Дамир Юлаевич Шаймарданов**, младший научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, d.shaimardanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5255-6399>

**Эльза Хафизовна Шаймарданова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории генетики, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, e.shaimardanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2721-0986>

**Ирина Николаевна Анисимова**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, irina\_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

**Надежда Геннадьевна Тихонова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, зав. отделом генетических ресурсов плодовых и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, n.g.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

**Юлия Васильевна Ухатова**, кандидат биологических наук, заместитель директора по научно-организационной работе, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, u.khatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

**Елена Константиновна Хлесткина**, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

### *Information about the authors*

**Ruslan S. Rakhmangulov**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, r.rakhmangulov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1200-3113>

**Ivan V. Barabanov**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.barabanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7793-9823>

**Mariya V. Erastenkova**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, m.erastenkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7328-437X>

**Aleksandr A. Ivanov**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.ivanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9055-0986>

**Tatyana V. Kovalenko**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, t.kovalenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6915-8760>

**Ksenya M. Mezhdina**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, k.mezhdina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1587-2608>

**Igor A. Petrosyan**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.petrosyan@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8069>

**Anastasiia A. Kharchenko**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.kharchenko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3983-0082>

**Damir Yu. Shaimardanov**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, d.shaimardanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5255-6399>

**Elza Kh. Shaimardanova**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, e.shaimardanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2721-0986>

**Irina N. Anisimova**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, irina\_anisimova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

---

**Nadezhda G. Tikhonova**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding, Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, n.g.tikhonova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7098-7662>

**Yulia V. Ukhatova**, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Scientific and Organizational Work, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, y.ukhatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

**Elena K. Khlestkina**, Dr. Sci. (Biology), Professor of the RAS, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**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 30.11.2022; одобрена после рецензирования 14.12.2022; принята к публикации 26.12.2022.

The article was submitted on 30.11.2022; approved after reviewing on 14.12.2022; accepted for publication on 26.12.2022.

Краткое сообщение

УДК 575.1:575.2:633

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-06



## Об итогах V Вавиловской международной конференции (21–25 ноября 2022 г., Санкт-Петербург)

Е.К. Хлесткина<sup>1</sup>, И.Г. Лоскутов<sup>1</sup>, Г.А. Баталова<sup>2</sup>, М.А. Вишнякова<sup>1</sup>, И.Г. Чухина<sup>1</sup>, Ю.В. Ухатова<sup>1</sup>, А.А. Заварзин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, Киров, Россия

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

Под эгидой V Вавиловской международной конференции, состоявшейся в Санкт-Петербурге 21–25 ноября 2022 года, были проведены восемь мероприятий, посвященных вопросам сохранения, развития, изучения и практического использования коллекций генетических ресурсов растений (ГРР), а также научному наследию Николая Ивановича Вавилова и вопросам развития основанных им научных школ и деятельности его соратников и последователей. Научное наследие Н.И. Вавилова с учетом современного контекста, а именно: новых направлений развития науки, фундаментальных знаний, современных методов и технологий, с учетом климатических и экономических вызовов, – играет большую роль для научно-технологического развития. На мероприятиях V Вавиловской международной конференции были в общей сложности представлены 185 устных докладов. Заседания Конференции собрали более 330 слушателей. Данная публикация отражает основные задачи и содержание проведенных мероприятий и содержит ключевые рекомендации, сформулированные по итогам конференции, включая (1) рекомендации в сфере сохранения, изучения и использования ГРР, в том числе на междисциплинарной основе; (2) рекомендации по мероприятиям, обеспечивающим координацию в сфере сохранения, изучения ГРР, селекции и семеноводства; (3) рекомендации по нормативному правовому регулированию в сфере селекции и семеноводства и в сфере коллекций генетических ресурсов; (4) рекомендации в сфере подготовки кадров, профориентационной и просветительской работы. По итогам представленных докладов отмечено, что за последние пять лет произошло существенное наращивание применения современных методических подходов – молекулярно-генетических, геномных, омиксных в сфере исследований генетических ресурсов растений. Всё это является прочной основой для развития методов селекции нового поколения (Next-Generation Breeding). При этом подчеркивается, что новые технологии селекции, разрабатываемые на основе получаемых знаний, способны обеспечить дальнейший прогресс не в отрыве, а в совокупности с имеющимся огромным заделом классической селекции. В резолюции Конференции среди ряда обсуждаемых проблем и предложений выделены в том числе те, что требуют особого и безотлагательного внимания: (1) необходимость законодательно закрепить сохранение и расширение разнообразия культур в «Государственном реестре сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию»; (2) недопустимость сокращения перечня этих культур; (3) недопустимость уменьшения числа государственных сортоиспытательных участков; (4) недопустимость сокращения сроков государственных сортоиспытаний с трех до двух лет или одного года; (5) необходимость приведения используемых в правовых и нормативных актах понятий «генетический паспорт» и «генетическая паспортизация» к каноническому пониманию «генетического паспорта» как документа, отражающего индивидуальные генетические особенности организма (либо сорта/гибрида/породы/штамма), которые позволяют отличить его генотип от генотипа других организмов (сортов/гибридов/пород/штаммов) конкретного вида и необходимость тщательной проработки методик генетической паспортизации каждой культуры с учетом всех типов генетических маркеров (молекулярно-генетических (ДНК-маркеров), белковых и морфологических генетических маркеров). Также конференция отметила, что усиливающиеся тенденции изменения климата и его резкие непредсказуемые колебания требуют во избежание необратимой утраты части растительного агробиоразнообразия и с целью надежного сохранения ценных генетических ресурсов растений в условиях *in situ* и *ex situ* предпринять в самое ближайшее время широкие экспедиционные обследования центров разнообразия культурных растений и их диких родичей, малоизученных территорий, а также регионов, подверженных антропогенному воздействию, и с экстремальными условиями среды.

**Ключевые слова:** Н.И. Вавилов, биотехнология, генетика растений, генетическая паспортизация, генетические ресурсы растений, государственное сортоиспытание, селекция растений

**Для цитирования:** Хлесткина Е.К., Лоскутов И.Г., Баталова Г.А., Вишнякова М.А., Чухина И.Г., Ухатова Ю.В., Заварзин А.А. Об итогах V Вавиловской международной конференции (21–25 ноября 2022 г. Санкт-Петербург). *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):79–89. DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-06

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., Лоскутов И.Г., Баталова Г.А., Вишнякова М.А., Чухина И.Г., Ухатова Ю.В., Заварзин А.А., 2022

## Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o6

## On the results of the 5<sup>th</sup> Vavilov International Conference (November 21–25, 2022)

Elena K. Khlestkina<sup>1</sup>, Igor G. Loskutov<sup>1</sup>, Galina A. Batalova<sup>2</sup>, Margarita A. Vishnyakova<sup>1</sup>, Irena G. Chukhina<sup>1</sup>, Yulia V. Ukhatova<sup>1</sup>, Alexey A. Zavarzin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

**Corresponding author:** Elena K. Khlestkina, director@vir.nw.ru

Under the auspices of the 5<sup>th</sup> Vavilov International Conference held in St. Petersburg on 21–25 November 2022, eight events were held on the conservation, development, study and practical use of plant genetic resources (PGR) collections, as well as on the scientific heritage of Nikolay Ivanovich Vavilov and the development of the scientific schools founded by him and the activities of his associates and followers. In view of the modern context of new trends in the development of science, fundamental knowledge, modern methods and technologies, as well as of climatic and economic challenges, the development of the scientific heritage of N.I. Vavilov plays a big role for scientific and technological development. A total of 185 oral presentations was made at the 5<sup>th</sup> Vavilov International Conference. Meetings of the Conference attracted over 330 participants. This publication reflects the main objectives and content of the performed activities and contains key recommendations emanating from the Conference, including (1) recommendations for the conservation, study and use of PGR, including those on the multidisciplinary basis; (2) recommendations on activities to ensure coordination in the field of conservation, research, breeding and seed production; (3) recommendations on the normative and legislative regulation in the sphere of breeding, seed production, development, maintenance and use of genetic resource collections; (4) recommendations on training, guidance and education. Presentations made at the Conference show that over the past five years there has been a significant increase in the use of modern methodical approaches, i.e., molecular-genetic, genomic and omics in the field of PGR research. All this provides a solid basis for the development of new breeding methods (Next-Generation Breeding). At the same time, it is emphasized that new breeding technologies based on the acquired knowledge, can lead to further progress not in isolation from, but in conjunction with the amassed heritage of classical breeding. Among the discussed and proposed issues, the Conference Resolution identifies those requiring special and urgent attention: (1) the need to legislate for the preservation and expansion of crop diversity in the State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Approved for Use; (2) the inadmissibility of reducing the list of these crops; (3) the inadmissibility of reducing the number of state variety testing sites; (4) the inadmissibility of reducing of time limits of state variety testing from three to two years or one year; (5) the need to bring the concepts of “genetic passport” and “genetic passportization” used in legal and regulatory acts to the canonical understanding of “genetic passport” as a document reflecting individual genetic features of an organism (cultivar/hybrid/breed/strain), which make it possible to distinguish its genotype from that of other organisms (cultivars/hybrids/breeds/ strains) of a particular species and the need to carefully elaborate methods of genetic certification of each crop, taking into account all types of genetic markers (molecular-genetic markers (DNA markers), protein and morphological markers). The Conference also noted that under the conditions of the increasing climate change and its sudden unpredictable fluctuations, reliable conservation of valuable plant genetic resources *in situ* and *ex situ* is required in order to avoid the irreversible loss of part of plant agrobiodiversity. In addition, extensive expeditionary surveys should be undertaken in the nearest future in crop and CWR diversity centers, under-explored areas, as well as in the regions with extreme environmental conditions and those prone to anthropogenic impacts.

**Key words:** N.I. Vavilov, biotechnology, plant genetics, genetic certification, plant genetic resources, state crop variety testing, plant breeding

**For citation:** Khlestkina E.K., Loskutov I.G., Batalova G.A., Vishnyakova M.A., Chukhina I.G., Ukhatova Y.V., Zavarzin A.A. On the results of the 5<sup>th</sup> Vavilov International Conference (November 21–25, 2022). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):79-89. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o6

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 authors, and their employers.

© Khlestkina E.K., I.G. Loskutov, G.A. Batalova, M.A. Vishnyakova, I.G. Chukhina, Ukhatova Y.V., Zavarzin A.A., 2022

## Введение

Вавиловская международная конференция (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР, Санкт-Петербург), приуроченная ко дню рождения академика Николая Ивановича Вавилова, проводится каждые пять лет на базе ВИР и посвящена рассмотрению научного наследия Н.И. Вавилова в разрезе современных научных достижений в сфере сохранения, мобилизации, изучения и практического использования генетических ресурсов растений, их роли в мировой селекции растений. V Вавиловская международная конференция, посвященная 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова, состоялась в Санкт-Петербурге 21–25 ноября 2022 года.

### Пленарное заседание V Вавиловской международной конференции

Пленарное заседание V Вавиловской международной конференции 21 ноября 2022 года, состоявшееся на площадке Санкт-Петербургского научного центра РАН, было организовано совместно с V Международной научной конференцией «Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы», проводимой в Беларуси (Genetics and Biotechnology, 2022). Значимость кооперации, обмена опытом и совместного обсуждения актуальных вопросов в сфере генетических ресурсов и генетики в рамках Союзного государства

трудно переоценить. На пленарном заседании слушатели Конференции познакомились с ведущими российскими работами в области мобилизации, сохранения, изучения и использования генетических ресурсов зерновых культур и картофеля. Белорусская сторона представила основные направления работы и результаты исследований Института генетики и цитологии НАН Беларуси, и итоги Научно-технической программы союзного государства «ДНК-идентификация».

На Пленарном заседании выдающиеся ученые России и Беларуси – академик РАН Л.А. Беспалова (Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко), академик НАН Беларуси Л.В. Хотылева (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси), академик РАН Г.А. Баталова (Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого), академик РАН Н.А. Сурин (Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН), академик НАН Беларуси С.И. Гриб (РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию») – были награждены Медалью имени академика Н.И. Вавилова.

Под эгидой V Вавиловской конференции были проведены восемь мероприятий (таблица). На этих мероприятиях были в общей сложности представлены 185 устных докладов. Заседания Конференции собрали более 330 слушателей. Материалы докладов опубликованы (Khlestkina et al., 2022a).

**Таблица. Мероприятия под эгидой V Вавиловской международной конференции**

**Table. Events held under the auspices of the 5<sup>th</sup> Vavilov International Conference**

	Название мероприятия	Организатор/ соорганизаторы	Web-страница
1	Вавиловские чтения-2022	ВИР, ИОГен РАН, Саратовский ГУ, ИГЦ НАН Беларуси, ВОГиС, Комиссия по сохранению и разработке научного наследия академика Н.И. Вавилова при Президиуме РАН	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/9_Plenarnoe-zasedanie_251122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/9_Plenarnoe-zasedanie_251122_2.pdf</a>
2	Конференция «Генетические ресурсы растений: сохранение, изучение, использование»	ВИР	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/2_Programma_GR_21_221122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/2_Programma_GR_21_221122_2.pdf</a>
3	Молодежная конференция «Поколение F <sub>3</sub> – к 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова»	ВИР	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/3_Molodezhnaya-Konferentsiya-F3_21-i-241122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/3_Molodezhnaya-Konferentsiya-F3_21-i-241122_2.pdf</a>
4	Всероссийская конференция: «100 лет научному обеспечению эффективного использования генетических ресурсов бобовых в России»	ВИР, Центр мирового уровня «Агротехнологии будущего»	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/6_Programma_ZBK_231122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/6_Programma_ZBK_231122_2.pdf</a>
5	Круглый стол «Соратники и последователи Н.И. Вавилова – в регионах России»	ВИР	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/4_Istoricheskii-kruglyi-stol_221122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/4_Istoricheskii-kruglyi-stol_221122_2.pdf</a>
6	Круглый стол: «Тритикале – культура будущего» к 85-летию У.К. Куркиева.	ВИР, исследовательская программа «Хлеба России»	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/7_Kruglyi-stol-Triticale_231122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/7_Kruglyi-stol-Triticale_231122_2.pdf</a>
7	Круглый стол: «Рожь: вчера, сегодня, завтра» памяти почетного профессора ВИР В.Д. Кобылянского	ВИР, исследовательская программа «Хлеба России»	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/8_Kruglyi-stol-Rozh_231122_2.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/8_Kruglyi-stol-Rozh_231122_2.pdf</a>
8	Круглый стол: «Сорные растения: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции»	ВИР	<a href="http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/5_Kruglyi-stol-po-sornym_221122_2-1.pdf">http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2022/08/5_Kruglyi-stol-po-sornym_221122_2-1.pdf</a>

## Вавиловские чтения-2022

Вавиловские чтения проводятся ежегодно в день рождения Николая Ивановича Вавилова. Второй год подряд четыре крупных организации, которые с гордостью носят имя великого ученого: ВИР, Саратовский государственный аграрный университет, Институт общей генетики РАН и Вавиловское общество генетиков и селекционеров, а также Комиссия по сохранению и разработке научного наследия академика Н.И. Вавилова при Президиуме РАН совместно проводят Вавиловские чтения для единой аудитории при использовании технологий онлайн подключения. В 2022 году к проведению Чтений в качестве со-организатора присоединился Институт генетики и цитологии НАН Беларуси. Вавиловские чтения-2022 были посвящены ряду вопросов, в том числе:

- биологическим ресурсам в контексте проблемы истоков и пределов существования современного человеческого общества;
  - развитию научных школ ВИР, созданных при Николае Ивановиче Вавилове;
  - 95-летию Абиссинской экспедиции Н.И. Вавилова.
- Тематика, касающаяся развития научных школ и деятельности соратников и последователей Н.И. Вавилова, была продолжена в рамках Круглого стола «Соратники и последователи Н.И. Вавилова – в регионах России».

### Круглый стол «Соратники и последователи Н.И. Вавилова – в регионах России»

На круглом столе «Соратники и последователи Н.И. Вавилова – в регионах России» были представлены и обобщены новые материалы о развитии ВИР и деятельности соратников и последователей Н.И. Вавилова (с акцентом преимущественно на 1920-е – 1940-е годы) в регионах, в том числе в Заполярье, на Юге и на Дальнем Востоке страны. Доклады представили профессиональные историки, ученые-биологи, учителя, специалисты в области библиотечного и архивного дела из Санкт-Петербурга, Москвы, Мурманской области, Приморского края, Архангельской и Тамбовской областей, Краснодарского края и Республики Адыгея.

По итогам круглого стола отмечается, что многие аспекты деятельности Николая Ивановича Вавилова и его соратников представляют собой богатый еще не до конца раскрытый потенциал с точки зрения исторической науки и могут быть основой для проведения НИР в области исторических наук (и в частности, в области краеведения), в том числе в рамках работ молодых исследователей, аспирантов и студентов из многих регионов России.

### Конференция «Генетические ресурсы растений: сохранение, изучение, использование»

Конференция «Генетические ресурсы растений: сохранение, изучение, использование» включала секции:

- Генетические ресурсы картофеля и клубнеплодных культур;
- Генетические ресурсы зерновых и крупяных культур;
- Генетические ресурсы масличных и прядильных культур;
- Генетические ресурсы плодовых культур;
- Генетические ресурсы овощных и бахчевых культур.

Обсуждению вопросов сохранения, изучения и использования зернобобовых культур была посвящена отдельная Всероссийская конференция: «100 лет научному обеспечению эффективного использования генетических ресурсов бобовых в России»; (см. ниже).

Конференция отметила первостепенное непреходящее значение мировой коллекции ВИР в качестве исходного материала для селекции как традиционных, так и новых культур, и значимость комплексной оценки генофонда коллекции в различных эколого-географических условиях сети опытных станций ВИР для создания новых сортов целевого использования, развития новых направлений селекции, введения в создаваемые сорта признаков адаптивности, качества, технологичности, появлению новых морфотипов и т.п. Констатируется, что благодаря исходному генетическому разнообразию мировой коллекции, отечественные селекционеры, применяя и развивая подходы в селекционных программах, обеспечивают агропроизводство страны новыми адаптированными высокопродуктивными сортами, удовлетворяя в отношении урожайности и качества по большинству ключевых культур требования Доктрины продовольственной безопасности (Doctrine, 2020) и обеспечивая высокий экспортный потенциал России. Конференция особо отметила значимость бесценного генофонда диких родичей культурных растений как основы для интрогрессивной селекции, о чем свидетельствовали многие доклады участников мероприятия. Наряду с генофондом мировой коллекции ВИР отмечена значимость локальных коллекций, подобранных под определенные региональные селекционные программы и поддерживаемых в селекционных центрах для оперативной работы, как «тактический» генофонд.

Также конференция отметила, что кроме значения для развития селекционных программ, мировая коллекция ВИР, как стратегический генофонд, играет большую роль в проведении фундаментальных исследований и получении новых знаний. При этом отмечен существенный прогресс в использовании мировой коллекции широким кругом научно-исследовательских учреждений для получения знаний в области геномики и в сфере развития генетических технологий. В отношении исследований генетических ресурсов растений в целом отмечен существенный прорыв в последние годы в части применения современных методических подходов в сфере молекулярной генетики, геномики и омиксных технологий. Всё это является прочной основой для развития методов селекции нового поколения (Next-Generation Breeding) уже в обозримом будущем при условии роста масштабности

в сфере молекулярно-генетических, геномных и омиксных исследований генетических ресурсов растений. Однако подчеркивается, что новые технологии селекции, разрабатываемые на основе знаний, получаемых в ходе этих исследований, могут обеспечить дальнейший прогресс в селекции только в комплексе с традиционными методами.

### **Всероссийская конференция: «100 лет научному обеспечению эффективного использования генетических ресурсов бобовых в России»**

Всероссийская конференция «100 лет научному обеспечению эффективного использования генетических ресурсов бобовых в России» проводилась в рамках деятельности Центра мирового уровня «Агротехнологии будущего» (Agrotechnologies, 2022). Участники конференции отметили, что селекция зернобобовых культур в России и в Союзном государстве в целом охватывает все указанные зернобобовые культуры, развивается поступательно и создает конкурентоспособные сорта. По некоторым культурам большую часть (порой до 100%) производственных площадей в Российской Федерации занимают сорта отечественной селекции. Отставание наблюдается в группе овощных зернобобовых, приводящее к значительной доле в производстве зарубежных сортов. Между тем, пищевая и консервная отрасли промышленности требуют непрерывных поставок качественного сырья. Поэтому особое внимание селекционеров следует привлечь к созданию овощных сортов гороха, фасоли, бобов. Участники конференции отметили непреходящее значение коллекции ВИР в качестве исходного материала для селекции. Комплексная оценка генофонда зернобобовых культур, проводимая в ВИР, способствует созданию новых сортов целевого использования, развитию новых направлений селекции, введению в создаваемые сорта признаков адаптивности, качества, технологичности, появлению новых морфотипов и т.п. Благодаря коллекции ВИР, в России в последние годы развивается селекция новых для страны культур – вигны, гуара, маша. Бесценным генофондом являются дикие родичи культурных растений, которые служат для интрогрессивной селекции, о чем свидетельствуют работы отечественных ученых. На конференции отмечен значительный прогресс в применении в нашей стране современных исследовательских технологий и агротехнологий. Это касается методов молекулярной генетики, транскриптомики, протеомики, метаболомики, применяемых при изучении целого ряда экономически значимых культур семейства бобовых, а также их симбиотических систем. Участники конференции отметили, что, кроме неопределимого прикладного значения, коллекция ВИР играет большую роль в проведении фундаментальных исследований, получении новых знаний о генетическом разнообразии генофонда зернобобовых культур, в том числе выявления в них ранее не изучаемых свойств и веществ, к примеру амилоидов, каме-

ди, множества метаболитов. Подобные открытия способны упрочить значение этой группы культур в различных отраслях народного хозяйства, а также в функциональном питании, диетологии, фармацевтике, косметологии, в создании полнорационных кормов для животных.

### **Молодежная конференция «Поколение F<sub>3</sub> – к 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова»**

Молодежная конференция «Поколение F<sub>3</sub> – к 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова» посвящена представлению результатов научно-исследовательских работ молодых ученых, по итогам их участия в различных научных проектах, а также выполнения проектов, руководителями которых являлись сами из некоторых выступавших.

В ходе конференции был обсужден широкий круг как фундаментальных вопросов изучения генетических ресурсов растений и их диких родичей, так и применения современных молекулярно-генетических методов и подходов к исследованиям генетических ресурсов. Спектр сельскохозяйственных культур, по которым были представлены результаты научных исследований, отражает в первую очередь направления развития генетических и селекционных работ по приоритетным для обеспечения продовольственной безопасности России и импортозамещения культурам – зерновым, овощным и плодовым. Проводимые молодыми учеными исследования включают как классические методы селекции, так и современные био- и постгеномные технологии, а также используют инструменты современной генетики для решения комплексных междисциплинарных актуальных и прикладных задач не только в чисто научных областях, но и при нахождении ответов на современные вызовы, стоящие перед агропромышленным комплексом России и экономикой в целом.

В рамках Молодежной конференции также были организованы специальная секция «Принцип матрешки – межрегиональное сотрудничество по вопросам сохранения агробиоразнообразия» и круглый стол «Взаимодействие науки и образования».

В секции «Принцип матрешки – межрегиональное сотрудничество по вопросам сохранения агробиоразнообразия» приняли участие школьники, выполняющие свои научные проекты в области генетики и биотехнологии растений, работающие с генетическими ресурсами культурных растений и их диких родичей, решающие свои исследовательские задачи совместно с образовательными проектами ВИР и партнеров: «Школьный Вавиловский огород» (Vavilov Garden, 2022), «Магия селекции» (“The Magic of Selection”, 2022), «Плоды науки» (All-Russian project, 2022) и другими. Юные участники продемонстрировали высокую заинтересованность в научно-исследовательской работе, мотивированность и тематическую погруженность. Участниками секции стали школьники, обучающиеся в домах детского творчества

и биологических центрах Республики Удмуртия, Архангельской, Белгородской, Ленинградской и Тамбовской областей, Краснодарского края и Санкт-Петербурга, и их наставники.

Круглый стол «Взаимодействие науки и образования» в рамках Молодежной конференции собрал наставников, педагогов и методистов из Санкт-Петербурга, Удмуртской республики, Новосибирской и Архангельской областей и других регионов России для обсуждения вопросов привлечения школьников к научно-исследовательской работе, включения их в научно-исследовательские программы и проекты вузов и научно-исследовательских организаций, получения старшеклассниками опыта работы в образовательных и просветительских мероприятиях и проектах. Были обсуждены методические направления работы со школьниками в ответ на большие вызовы не только в крупных образовательных центрах страны, но и в региональных.

Участники конференции отметили, что мероприятия подобного рода не только позволяют познакомиться с результатами актуальных научных направлений, по которым работают молодые учёные, но и помогают совместно ставить и решать современные задачи, находить точки соприкосновения в исследованиях разных научных школ и групп на стыке различных научных областей. При решении научно-исследовательских задач, как показал положительный опыт наставников и педагогов, стоит привлекать юных исследователей для решения практических задач, а также развивать просветительскую деятельность для популяризации науки среди школьников, для мотивированного и осознанного выбора профессиональной деятельности в будущем.

### **Круглый стол «Тритикале – культура будущего» к 85-летию У.К. Куркиева**

Несмотря на молодой возраст тритикале как сельскохозяйственного растения и нового биологического вида, мировая коллекция ВИР содержит богатейший материал по этой культуре, не только в виде материала, мобилизованного/ мобилизуемого в коллекцию из селекционных центров, но и созданного/ активно создаваемого на базе самого южного филиала ВИР – Дагестанской опытной станции, основанной Н.И. Вавиловым в Дербенте. Географические, климатические и микроклиматические особенности места, выбранного Н.И. Вавиловым для создания Дагестанской станции, по ряду достоинств, важных для сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений, представляют собой уникальные для России естественные условия для видообразования аллополиплоидных форм зерновых культур и облегчают целенаправленные работы по созданию синтетических форм на основе отдаленной гибридизации представителей трибы Triticeae. Среди них ключевое значение имеет амфи-диплоид пшеницы с рожью – тритикале.

На Дагестанской опытной станции ВИР более полу-

века работает ученый, посвятивший всю свою жизнь созданию и изучению генетических ресурсов тритикале, – Уллубий Киштилиевич Куркиев (Kurkiev, 2022). Приуроченный к его 85-летию Круглый стол «Тритикале – культура будущего», организованный в рамках исследовательской программы «Хлеба России» (Research Programme, 2021) собрал специалистов в области селекции, генетики и технологии хлебопечения тритикале из ведущих научных центров России (из Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко, ВИР имени Н.И. Вавилова, ФИЦ «Немчиновка», ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии, Казанского научного центра РАН, Верхне-Волжского федерального аграрного научного центра, НИИ хлебопекарной промышленности) и Республики Беларусь.

Отмечена существенная динамика в области сортосмены и улучшения данной культуры по хозяйственно ценным признакам, причем не только по свойствам, важным для тритикале, как кормовой культуры, но и значительный прогресс для ее применения в хлебопекарной промышленности. Отмечен практически неограниченный потенциал развития и совершенствования сортов данной культуры по всем направлениям использования благодаря богатому разнообразию в мировой коллекции генетических ресурсов как самого тритикале, так и генетических ресурсов пшеницы и ржи, как основы для создания новых форм тритикале путем отдаленной гибридизации.

### **Круглый стол: «Рожь: вчера, сегодня, завтра» памяти почетного профессора ВИР В.Д. Кобылянского**

Круглый стол: «Рожь: вчера, сегодня, завтра», организованный в рамках исследовательской программы «Хлеба России», посвящен памяти всемирно известного ученого в области генетики и селекции ржи почетного профессора ВИР Владимира Дмитриевича Кобылянского (Kobylyansky, 2022; Vladimir Dmitrievich Kobylansky, 2022). Круглый стол выявил большую заинтересованность в продолжении всех направлений исследований, разработанных В.Д. Кобылянским. В докладах затрагивались темы получения гетерозисных гибридов озимой ржи в России, создание короткостебельных, устойчивых к основным грибным болезням сортов с использованием доноров, созданных в ВИР, и также создание сортов низкопентозановой ржи, как новой фуражной культуры. Все выступающие отмечали значение исходного материала, созданного В.Д. Кобылянским, а также коллекции ВИР в целом для эффективной и результативной селекции озимой ржи и других зерновых культур.

### **Круглый стол: «Сорные растения: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции»**

Круглый стол «Сорные растения: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции» был посвящен обсуждению широкого круга как теоретических и методических, так и практических проблем, связанных с сорными растениями во флоре России и сопредельных стран. Важным аспектом многих исследований было выявление сегетального и инвазионного потенциала, а также полезного генофонда фиторазнообразия антропогенно трансформированных территорий, площадь которых ежегодно увеличивается.

Участники круглого стола отметили:

- необходимость формирования сети герботологических наблюдений и цифровой платформы, организованной на принципах открытой науки, в том числе создания интернет-портала, содержащего результаты изучения разных аспектов сорных растений, для нивелирования дисциплинарных и отраслевых границ в исследованиях и разработках;

- необходимость разработки методических указаний по проведению геоботанических обследований земель сельскохозяйственного назначения в связи с отсутствием методической базы для реализации принятых нормативных актов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

## **Основные рекомендации V Вавиловской международной конференции**

### **1. Рекомендации в сфере сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений, в том числе на междисциплинарной основе**

1.1. Конференция подчеркивает непреходящую значимость развития научного наследия Н.И. Вавилова, связанного со сбором, сохранением, изучением и рациональным использованием генетических ресурсов растений, и значимость сохранения этой преемственности с учетом современного контекста – новых направлений развития науки, фундаментальных знаний, современных методов и технологий, с учетом климатических и экономических вызовов.

1.2. Конференция отмечает, что в этой связи безусловную значимость имеет реализация Указов Президента № 44 «О Национальном центре генетических ресурсов растений» и № 45 «О Межведомственной комиссии по вопросам формирования, сохранения и использования коллекций генетических ресурсов растений» от 8 февраля 2022 года (Decree No. 44, 2022; Decree No. 45, 2022).

1.3. Конференция по итогам представленных докладов отмечает произошедший за последние 5 лет существенный прорыв в части более интенсивного применения современных методических подходов: молекулярно-генетических, геномных, омиксных – в сфере исследований генетических ресурсов растений. Всё это является прочной основой для развития методов селекции нового поколения (Next-Generation Breeding). При этом Конференция отмечает, что новые технологии селекции, разрабатываемые

на основе получаемых знаний, способны обеспечить дальнейший прогресс не в отрыве, а в совокупности с имеющимся огромным заделом, созданным классической селекцией.

1.4. Конференция отмечает, что усиливающиеся тенденции изменения климата и его резких непредсказуемых колебаний требуют, во избежание необратимой утраты части растительного агробиоразнообразия и с целью надежного сохранения ценных генетических ресурсов растений в условиях *in situ* и *ex situ*, предпринять в самое ближайшее время широкие экспедиционные обследования центров разнообразия культурных растений и их диких родичей, малоизученных территорий, а также регионов, подверженных антропогенному воздействию, и характеризующихся экстремальными условиями среды.

1.5. В части межведомственного и междисциплинарного взаимодействия Конференция обращает внимание на потребность формирования сети герботологических наблюдений и цифровой платформы, организованной на принципах открытой науки, в том числе создания интернет-портала, содержащего результаты изучения разных аспектов сорных растений для нивелирования дисциплинарных и отраслевых границ в исследованиях и разработках;

### **2. Рекомендации по мероприятиям, обеспечивающим координацию в сфере сохранения, изучения ГРР, селекции и семеноводства**

2.1. Конференция, основываясь на опыте 2022 года, рекомендует продолжить дальнейшее проведение Вавиловской международной конференции на базе ВИР каждые пять лет в формате комплексного мероприятия (по принципу «Мультиконференции»). Такой многомерный формат мероприятия позволяет проводить интенсивный обмен опытом в широкой профессиональной аудитории, включающей разные поколения ученых, и коллегиально определять стратегические приоритеты в области сбора, сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений.

2.2. Конференция постановила организовать проведение на базе ВИР координационного совещания по зернофуражным культурам летом 2023 года. Для участия в данном мероприятии, которое будет включать демонстрационные посевы на базе НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» новых сортов всех профильных селекционных центров Российской Федерации по зернофуражным культурам, что позволит провести сравнительную оценку новых селекционных достижений, получить обратную связь для каждой селекционной программы, обменяться новыми знаниями в сфере современных молекулярно-генетических технологий и скоординировать совместные исследования по направлению экологической селекции.

### **3. Рекомендации по нормативному правовому регулированию в сфере селекции и семеноводства и в сфере**

## коллекций генетических ресурсов

3.1. Конференция выражает обеспокоенность и настоятельно рекомендует законодательно закрепить сохранение и расширение разнообразия культур в «Государственном реестре сортов и гибридов сельскохозяйственных

растений, допущенных к использованию», и недопустимость сокращения перечня этих культур, уменьшения числа сортоиспытательных участков и сокращения сроков государственных сортоиспытаний с трех до двух лет или одного года.

### Справочно

Для допуска новых селекционных достижений к производству требуется прохождение государственного сортоиспытания – экспертизы по комплексу хозяйственно-ценных признаков с последующим заключением о включении сорта в Государственный реестр (Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию) и допуске его в производство, либо о снятии сорта с государственного сортоиспытания по ряду показателей, основным из которых является урожайность.

Значимость системы сортоиспытания сложно переоценить. В свое время именно благодаря развитию этой системы, основанной Н.И. Вавиловым вместе с В.Е. Писаревым и В.В. Талановым, удалось вывести растениеводство на новый системный уровень с постоянным ростом урожайности и качества продукции растениеводства, развитием отечественной селекции в части расширения не только списка сортов, но и культур. Сегодня следование этой системе при правильно налаженном контроле гарантирует обеспечение сельхозтоваропроизводителей и населения качественными семенами и посадочным материалом, прошедшими испытания в агроэкологических условиях Российской Федерации. С этой системой, гарантирующей продовольственную безопасность и технологическую независимость страны, следует обращаться бережно и осторожно. Наша страна не сравнится ни с одной другой по количеству и разнообразию агроэкологических зон. Для России не подходит опыт стран с небольшими территориями и меньшим вкладом аграрной отрасли в экономику, где реестры сортов, составляемые по итогам испытаний, иногда носят рекомендательный и информационный, а не разрешительный характер.

В последние годы произошло существенное сокращение числа государственных сортоиспытательных участков (далее – госсортоучастков) для изучения конкретной культуры до двух, в ряде случаев до одного в конкретном регионе, что не соответствует разнообразию агроэкологических зон и заведомо приводит к недопуску в производство сортов, специально выведенных для конкретных условий, но вынужденно испытываемых совсем в другой зоне региона. Кроме того, сокращение числа

госсортоучастков, располагающихся преимущественно в сельской местности, ведет к стагнации в части развития земледелия и расширения ареалов возделывания новых сортов и культур, и, как следствие, повышает риск снижения темпов развития сельских территорий, особенно в удаленных регионах Российской Федерации.

Следующая серьезная проблема – решение о переходе с 3-х летнего периода изучения нового сорта на 2-х летний (в перспективе однолетний), что не позволяет достоверно оценить адаптивный потенциал нового сорта.

Снижение числа госсортоучастков и сокращение срока испытаний не позволяет в полной мере провести оценку нового сорта и, в результате, может привести к включению в Государственный реестр и допуску в производство сортов, не отличающихся конкурентоспособностью, к резкому снижению урожайности новых районированных сортов.

Еще одна острая проблема – попытка сократить перечень родов и видов сельскохозяйственных растений, сорта и гибриды которых подлежат включению в Государственный реестр. Сокращение Перечня родов и видов безвозвратно усугубит зависимость АПК Российской Федерации от зарубежных селекционных достижений и посадочного материала, резко снизит степень защиты интеллектуальной собственности отечественных селекционеров и оригинаторов, поставит под угрозу развитие и само существование имеющихся отечественных селекционных школ по культурам, исключенным из перечня. Отмена обязательного государственного испытания исключаемых их перечня культур приведет к нарушению процесса сортосмены (замены старых сортов на новые, отличающиеся лучшими показателями урожайности, качества продукции, устойчивости к неблагоприятным факторам среды). Сорт – основа эффективного сельскохозяйственного производства, а сортосмена является стимулом для инновационного развития селекционной работы. Сокращение Перечня культур для обязательного Госсортоиспытания неминуемо приведет к стагнации российской селекционно-семеноводческой отрасли, формированию зависимости страны от достижений зарубежных и транснациональных селекционно-семеноводческих компаний.

3.2. Конференция рекомендует усовершенствовать нормативы в части обеспечения бюджетного финансирования проведения государственных сортоиспытаний сортов и гибридов сельскохозяйственных культур отечественной селекции, в том числе плодовых и ягодных культур.

3.3. Конференция настоятельно рекомендует привести в соответствие использование понятий «генетический паспорт» и «генетическая паспортизация» в правовых и нормативных актах каноническому пониманию «гене-

тического паспорта» как документа, отражающего индивидуальные генетические особенности организма (сорта/гибрида/породы/штамма), которые позволяют отличить его генотип от генотипа других организмов (сортов/гибридов/пород/штаммов) конкретного вида. Необходимо тщательно проработать методики генетической паспортизации каждой культуры с учетом всех типов генетических и молекулярно-генетических маркеров: ДНК, белковых и морфологических.

### Справочно

Во избежание использования термина «генетический паспорт» не только в его каноническом, но и неканоническом значении, рекомендуется соотнести с этим термином проводимое впер-

вые исследование генетических особенностей сорта, тогда как документу для проверки на ГМО целесообразно присвоить иное наименование, например, «Акт проверки на наличие в образцах семян генно-инженерно-модифицированных организ-

мов», не называя последний генетическим паспортом. Также и акт проверки сортовой идентичности партии семян не следует называть генетическим паспортом во избежание путаницы. Впервые проведенная генетическая паспортизация сорта/гибрида с целью установления его генетических особенностей, которые позволят отличить в дальнейшем его генотип от генотипа других сортов/гибридов данного вида, **навсегда свяжет** наименование селекционного достижения с определенным генотипом. Любая ошибка в процессе генотипирования повлечет за собой в дальнейшем **необратимые последствия** вплоть до

приостановки оборота семян сорта/гибрида. Поэтому высокая точность методического подхода при первичной генетической паспортизации селекционного достижения имеет огромное значение. Кроме этого, в генетическом в паспорте также должна быть приведена информация о факте дальнейшего хранения в аккредитованной лаборатории, проводившей анализ, физического носителя генетической информации (семена, ДНК, зафиксированные части растения в лиофилизированном, либо замороженном виде, в наилучшем варианте – в виде номенклатурного стандарта).

3.4. Конференция рекомендует усовершенствовать нормативы стимулирования исследователей и рейтингования исследовательских организаций, ведущих деятельность в сфере селекции и семеноводства, с учетом практических достижений в данной сфере.

3.5. В части предложений по нормативному правовому регулированию в сфере биологических коллекций и биоресурсных центров, Конференция поддерживает предло-

жения Первого научного форума «Генетические ресурсы России» (Tikhonovich et al., 2022; Khlestkina et al., 2022b).

3.6. В части нормативного регулирования в сфере питомниководства, Конференция рекомендует в рамках (или дополнительно к) ГОСТ Р 59653-2021 «Материал посадочный плодовых и ягодных культур» проработать методологию производства посадочного материала высших категорий качества.

#### Справочно

В рамках (или дополнительно к) ГОСТ Р 59653-2021 «Материал посадочный плодовых и ягодных культур» требуется проработать вопросы аккредитации вирусологических лабораторий,

разработать единую методику определения вирусов и фитопатогенов для сортов плодовых и ягодных культур. Эти меры будут содействовать производству посадочного материала высших категорий качества.

3.7. В части нормативного регулирования в сфере геоботанических обследований земель сельскохозяйственного назначения Конференция обращает внимание на необходимость разработки методических указаний по проведению таких обследований, в связи с отсутствием методической базы для реализации существующих нормативных актов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

#### 4. Рекомендации в сфере подготовки кадров, профориентационной и просветительской работы

4.1. Конференция рекомендует стимулировать формирование взаимодействий между научными организациями, вузами и центрами дополнительного образования школьников, способствующих включению старшеклассников в выполнение работ в рамках ведущих научных проектов и программ.

4.2. Конференция отмечает значимость просветительских проектов в сфере агробиологии и генетических ресурсов растений, включая проекты по развитию научного волонтерства (гражданской науки).

4.3. Конференция настоятельно рекомендует расширять практику формирования сетевых образовательных программ в области агробиологии и агрогенетики на базе консорциумов ведущих вузов и научных центров, разработать механизмы конкурсной поддержки академической мобильности для студентов, аспирантов и молодых ученых.

**Конференция постановила направить данные предложения в:**

- 1) Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;
- 2) Отделение сельскохозяйственных наук РАН;
- 3) ФГБУ «Госсорткомиссия»;
- 4) Департамент селекции и семеноводства Министерства сельского хозяйства Российской Федерации;
- 5) Совет по реализации Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019 - 2030 годы;
- 6) Научно-образовательный центр права и биоэтики в сфере геномных исследований и применения генетических технологий ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О.Е. Кутафина (МГЮА)»;
- 7) Комитет Государственной Думы по науке и высшему образованию;
- 8) Комитет Совета Федерации по науке, образованию и культуре;
- 9) Комитет Совета Федерации по Аграрно-продовольственной политике;
- 10) Национальный союз селекционеров и семеноводов.

#### References / Литература

- Agrotechnologies of the future: [website]. [in Russian] (Агротехнологии будущего: [сайт]). URL: <https://future-agro.ru/> [дата обращения: 26.11.2022].
- All-Russian project “Fruits of Science” (Vserossiyskiy proyekt «Plody nauki»): [website]. [in Russian] (Всероссийский проект «Плоды науки»: [сайт]). URL: <https://xn--dlaxz.xn--plai/competition/430> [дата обращения: 27.11.2022].
- Decree of the President of the Russian Federation No. 44 dated February 8, 2022 “On the National Center for Plant Genetic

- Resources (O Natsionalnom tsentre geneticheskikh resursov rasteniy)". Official Internet-Portal of the Legal Information; 2022. [in Russian] (О Национальном центре генетических ресурсов растений: Указ Президента Российской Федерации от 08.02.2022 № 44. Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202080014> [дата обращения: 09.02.2022].
- Decree of the President of the Russian Federation No. 45 dated February 8, 2022. "On the Interdepartmental Commission on the Formation, Preservation and Use of Collections of Plant Genetic Resources: (O Mezhdomstvennoy komissii po voprosam formirovaniya, sokhraneniya i ispolzovaniya kollektsey geneticheskikh resursov rasteniy)". Official Internet-Portal of the Legal Information; 2022. [in Russian] (Указ Президента Российской Федерации от 08.02.2022 № 45 «О Межведомственной комиссии по вопросам формирования, сохранения и использования коллекций генетических ресурсов растений». Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202080015?index=0&rangeSize=1> [дата обращения: 09.02.2022].
- Doctrine of Food Security of the Russian Federation: (Presidential decree of the Russian Federation of January 21, 2020. No. 20). *Security Council of the Russian Federation*: [website]. [in Russian] (Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: (Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2020 года № 120). *Совет Безопасности Российской Федерации*: [сайт]). URL: <http://www.scrf.gov.ru/security/economic/document108/> [дата обращения: 26.11.2022].
- Genetics and Biotechnology of the 21st Century: Problems, Achievements, Prospects: V International Scientific Conference: materials conferences; 2022 November 21–25; Minsk, Belarus. Minsk; 2022. 178 p. [in Russian] (Генетика и биотехнология XXI века: проблемы, достижения, перспективы: V Международная научная конференция, посвященная 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова, Минск, 21–25 ноября 2022 г.: материалы конференции. Минск; 2022. 178 с.).
- Khlestkina E.K., Ukhatova Yu.V., Sokolova E.A., (eds). V International Vavilov Conference: celebrating N.I. Vavilov's 135th birthday: Abstracts; 2022a November 21–25; St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: VIR; 2022. 506 p. [in Russian] (V Вавиловская международная конференция: к 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, 21–25 ноября 2022 г.: тезисы докладов / под общей редакцией Е.К. Хлесткиной, Ю.В. Ухатовой, Е.А. Соколовой. Санкт-Петербург: ВИР; 2022a. 506 с.). DOI: 10.30901/978-5-907145-90-0
- Khlestkina E.K., Zakharova M.V., Nizhnikov A.A., Geltman D.V., Chernetsov N.S., Mikhailova N.A., Glotov A.S., Khlestkin V.K., Zavarzin A.A., Mokhov A.A., Tikhonovich I.A. The first scientific forum Genetic Resources of Russia on legal regulation in the field of bioresources and biological collections. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022b;5(2):48-54. [in Russian] (Хлесткина Е.К., Захарова М.В., Нижников А.А., Гельтман Д.В., Чернецов Н.С., Михайлова Н.А., Глотов А.С., Хлесткин В.К., Заварзин А.А., Мохов А.А., Тихонович И.А. Первый научный форум «Генетические ресурсы России» - о правовом регулировании в сфере биоресурсов и биологических коллекций. *Биотехнология и селекция растений*. 2022b;5(2):48-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-02
- Kobylyansky Vladimir Dmitrievich. *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)*: [website]. [in Russian] (Кобылянский Владимир Дмитриевич. *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)*: [сайт]). URL: <https://www.vir.nw.ru/kobylyanskij-vladimir-dmitrievich/> [дата обращения: 26.11.2022].
- Kurkiev Ullubiy Kishtilievich. *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)*: [website]. [in Russian] (Куркиев Уллубий Киштилиевич. *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)*: [сайт]). URL: <https://www.vir.nw.ru/kurkiev-ullubij-kishtilievich/> [дата обращения: 26.11.2022].
- Research Programme "Bread of Russia" (Issledovatel'skaya programma "Khleba Rossii") (Agreement No. 075-15-2021-1066 from September 28, 2021). *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)*: [website]. [in Russian] (Исследовательская программа «Хлеба России» (соглашение № 075-15-2021-1066 от 28 сентября 2021 г.). *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)*: [сайт]). URL: <https://www.vir.nw.ru/proekty-i-programmy/#1639119602388-684ef0b3-2267> [дата обращения: 26.11.2022].
- "The Magic of Selection" for schoolchildren from Tambov ("Magiya selektsii" – dlya tambovskikh shkolnikov). *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)*: [website]. [in Russian] ("Магия селекции" – для тамбовских школьников. *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)*: [сайт]). URL: <https://www.vir.nw.ru/blog/2020/11/20/magiya-selektsii-dlya-tambovskikh-shkolnikov/> [дата обращения: 27.11.2022].
- Tikhonovich I.A., Geltman D.V., Chernetsov N.S., Mikhailova N.A., Glotov A.S., Khlestkin V.K., Ukhatova Y.V., Zavarzin A.A., Nizhnikov A.A., Khlestkina E.K. On the results of the First Scientific Forum "Genetic Resources of Russia": prospects for development, research and practical potential of bio-collections. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(2):38-47. [in Russian] (Тихонович И.А., Гельтман Д.В., Чернецов Н.С., Михайлова Н.А., Глотов А.С., Хлесткин В.К., Ухатова Ю.В., Заварзин А.А., Нижников А.А., Хлесткина Е.К. Об итогах Первого научного форума «Генетические ресурсы России»: перспективы развития, научно-исследовательский и научно-практический потенциал биоресурсных коллекций. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(2):38-47). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-2-04
- Vavilov Garden (Vavilovskiy ogorod). *N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)*: [website]. [in Russian] (Вавиловский огород. *Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)*: [сайт]). URL: <https://www.vir.nw.ru/vavilovskij-ogorod/> [дата обращения: 26.11.2022].
- Vladimir Dmitrievich Kobylyansky (1928–2022): (in memory of the scientist). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(1):268. [In Russian] (Кобылянский Владимир Дмитриевич (1928–2022): (памяти ученого). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):268). URL: <https://elpub.vir.nw.ru/jour/article/view/1211> [дата обращения: 27.11.2022].

### Информация об авторах

**Елена Константиновна Хлесткина**, доктор биологических наук, профессор РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [director@vir.nw.ru](mailto:director@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Лоскутов Игорь Градиславович**, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, и.о. заведующего отделом генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [i.loskutov@vir.nw.ru](mailto:i.loskutov@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

**Галина Аркадьевна Баталова**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующая отделом, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого, 610007 Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а, g.batalova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

**Маргарита Афанасьевна Вишнякова**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующая отделом генетических ресурсов зернобобовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; m.vishnyakova.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

**Ирена Георгиевна Чухина**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела агроботаники и *in situ* сохранения генетических ресурсов растений, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

**Юлия Васильевна Ухатова**, кандидат биологических наук, заместитель директора по научно-организационной работе, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, u.khatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

**Алексей Алексеевич Заварзин**, кандидат биологических наук, заместитель директора по научно-организационной работе, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.zavarzin@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1793-7556>

### ***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 (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, director@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Igor G. Loskutov**, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Chief Researcher, Acting Head of the Department of Genetic Resources of Oats, Rye, Barley, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

**Galina A. Batalova**, Dr. Sci. (Agriculture), Academician of the RAS, Head of the Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, 166a, Lenina Street, Kirov, 610007 Russia, g.batalova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3491-499X>

**Margarita A. Vishnyakova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Scientific Researcher, Head, Grain Legumes Genetic Resources Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, m.vishnyakova.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

**Irena G. Chukhina**, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Agrobotany and *in situ* Conservation of Plant Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.chukhina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3587-6064>

**Yulia V. Ukhatova**, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Scientific and Organizational Work, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, u.khatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

**Aleksey A. Zavarzin**, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Scientific and Organizational Work, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.zavarzin@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1793-7556>

**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 12.12.2022; одобрена после рецензирования 17.12.2022; принята к публикации 20.12.2022.

The article was submitted on 12.12.2022; approved after reviewing on 17.12.2022; accepted for publication on 20.12.2022.

**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.

<https://biosel.elpub.ru>

«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.

The screenshot displays the website for the journal "Биотехнология и селекция растений". At the top, there is a search bar and a navigation menu with links for "ГЛАВНАЯ", "О НАС", "ТЕКУЩИЙ ВЫПУСК", "АРХИВЫ", "ОБЪЯВЛЕНИЯ", and "ПРИНЯТО В ПЕЧАТЬ". Below the navigation, there is a main article preview with a thumbnail image of a DNA helix and a field of crops. The article title is "«Биотехнология и селекция растений» - это периодический научный журнал...". To the right of the main article, there is a vertical menu with options like "Отправить статью", "Правила для авторов", "Редакционная коллегия", "Редакционный совет", "Рецензирование", and "Этика публикаций". Below the main article, there is a section for the current issue, "Том 5, № 1 (2022)", with a "Скачать выпуск PDF" button. Further down, there are sections for "ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА" and "ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ". Each section includes a title, author names, and a "PDF (RUS)" button. On the right side, there is a grid of logos for various databases and services, including DOAJ, COCIIONET, research4life, LENS.ORG, LIBRARY.RU, Google, РГБ, Science Index, WorldCat, Mendeley, unpaywall, and Baidu. At the bottom right, there is a section for "ПОПУЛЯРНЫЕ СТАТЬИ" with three article entries, each with a title, author, and "PDF (RUS)" button.

<https://biosel.elpub.ru>

---

**Биотехнология и селекция растений / Plant Biotechnology and Breeding**  
**Научный рецензируемый журнал / Scientific Peer Reviewed Journal**

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](mailto:pbi@vir.nw.ru)

русский, английский / Languages: Russian, English  
Индексируется в РИНЦ (НЭБ), DOAJ, AGRIS, входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук / Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, DOAJ, AGRIS, included in the list of publications recognized by the Russian Higher Attestation Commission (VAK RF) when candidate and doctoral dissertations are defended.

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](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, Е.И. Михайлова*  
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](mailto:pbi@vir.nw.ru); [i.kotielkina@vir.nw.ru](mailto:i.kotielkina@vir.nw.ru)

**Почтовый адрес редакции**

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

Подписано в печать 30.12.2022. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 11,5. Тираж 30 экз. Заказ № 378/4.

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

Отпечатано в типографии  
ООО «ОЛИВА»

190020, Санкт-Петербург, Старо-Петергофский пр., д. 44, лит. А, пом. 4



БИОТЕХНОЛОГИЯ  
И СЕЛЕКЦИЯ  
РАСТЕНИЙ

5(4), 2022