

ISSN: 2658-6266 (Print)

ISSN: 2658-6258 (Online)

БИОТЕХНОЛОГИЯ И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

8(1), 2025



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

2025, 8(1)

ОСНОВАН В 2018 ГОДУ
ПЕРИОДИЧНОСТЬ 4 РАЗА В ГОД

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

e-mail: pbi@vir.nw.ru

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

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

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1
УДК: 573.6:631.527

ПИ № ФС77-74475
ISSN: 2658-6266 (Print)
ISSN: 2658-6258 (Online)

На обложке:

Фото. Поколение F3.

Материалы к статье: Хлесткина Е.К., Ухатова Ю.В., Лоскутов И.Г., Вишнякова М.А.,
Гавриленко Т.А., Радченко Е.Е., Зуев Е.В., Шеленга Т.В., Леншин А.А., Шипилина Л.Ю.,
Швачко Н.А., Чухина И.Г., Котелкина И.В. Об итогах конференции «ВИР-130: генетические
ресурсы растений» (5-9 ноября 2024 г., Санкт-Петербург). *Биотехнология и селекция
растений*. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o5

SCIENTIFIC PEER REVIEWED JOURNAL

PLANT BIOTECHNOLOGY AND BREEDING

2025, 8(1)

FOUNDED IN 2018
PUBLISHED 4 TIMES ANNUALLY

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

e-mail: pbi@vir.nw.ru

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

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

Cover photo:

Photos. Generation F3.

Materials for the article: Khlestkina E.K., Ukhatoeva Y.V., Loskutov I.G., Vishnyakova M.A., Gavrilenko T.A.,
Radchenko E.E., Zuev E.V., Shelenga T.V., Lenshin A.A., Shipilina L.Yu., Shvachko N.A., Chukhina I.G.,
Kotelkina I.V. On the results of the Conference "VIR-130: Plant Genetic Resources" (November 5-9, 2024,
St. Petersburg). *Plant Biotechnology and Breeding*. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o5

Биотехнология и селекция растений

2025 Том 8 № 1

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1
<https://biosel.elpub.ru>

Научный рецензируемый журнал
Издается с 2018 г.

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

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-74475 от 30 ноября 2018 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

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

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

Главный редактор:

Е. К. Хлесткина – д.б.н., профессор РАН (Россия)

Заместители главного редактора:

Т. А. Гавриленко – д.б.н. (Россия)

И. Н. Анисимова – д.б.н. (Россия)

Л. Ю. Новикова – д.с.-х.н. (Россия)

Ответственный секретарь:

Н. А. Оськина

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)
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)
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)
Е. В. Думачева – д.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 – д.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. Кушнарченко – 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)
К. Г. Ткаченко – д.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. Хатефов – д.б.н. (Россия)
Я. А. Цепилов – к.б.н. (Россия)
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

2025 Volume 8 No 1
DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1
<https://biosel.elpub.ru>

Scientific Peer Reviewed Journal

Founded in 2018

Founder: Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)
Founder's address: 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000, Russia

Editor-in-Chief:

E. K. Khlestkina – Dr. Sci. in Biol., Professor. (Russia)

Deputy Editors-in-Chief:

T. A. Gavrilenko – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
I. N. Anisimova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
L. Yu. Novikova – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)

Executive Secretary:

N. A. Oskina

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)
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)
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)
E. V. Dumacheva – Dr. 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. Il'nitskaya – Cand. Sci. in Biol. (Russia)
R. N. Kalendar – Cand. Sci. in Biol. (Kazakhstan)
N. N. Karpun – Dr. 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. Lihenkov – 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. Podorozhnyi – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)
T. G. Prichko – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)
T. A. Rozhmina – Dr. Sci. in Biol. (Russia)
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)
K. G. Tkachenko – Dr. 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	
РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИИ	5
<i>Иванова Е.А., Алпатьева Н.В., Rogozina E.B.</i> <i>Научная статья</i> Молекулярные маркеры как инструмент в селекции картофеля на устойчивость к фитофторозу	
<i>Попов В.С., Корнюхин Д.Л., Шеленга Т.В., Гаврилова В.А., Хорева В.И.</i>	23
<i>Научная статья</i> Определение алломеланинов в луже подсолнечника весовым методом	
ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ	33
<i>Егги Э.Э., Александрова Т.Г., Конарев А.В.</i> <i>Научная статья</i> Идентификация видов вики (<i>Vicia</i> L.) по составу основных полипептидов 11S глобулина семян на примере <i>V. narbonensis</i> complex и <i>V. pannonica</i> Crantz	
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	46
<i>Конарев А.В.</i> <i>Краткое сообщение</i> Биохимия культурных растений и мировая коллекция ВИР в разрезе вопросов здорового питания	
<i>Хлесткина Е.К., Ухатова Ю.В., Лоскутов И.Г., Вишнякова М.А., Гавриленко Т.А., Радченко Е.Е., Зувев Е.В., Шеленга Т.В., Леншин А.А., Шипилина Л.Ю., Швачко Н.А., Чухина И.Г., Котелкина И.В.</i>	53
<i>Краткое сообщение</i> Об итогах конференции «ВИР-130: генетические ресурсы растений» (5-9 ноября 2024 г., Санкт-Петербург)	

CONTENTS

FROM THE EDITOR IN CHIEF	4
<i>E. K. Khlestkina</i> INTRODUCTORY ARTICLE	
DEVELOPMENT OF MODERN BREEDING METHODS	5
<i>Ivanova E.A., Alpatieva N.V., Rogozina E.V.</i> <i>Original article</i> Molecular markers as a tool in potato breeding for late blight resistance	
<i>Popov V.S., Korniyukhin D.L., Shelenga T.V., Gavrilova V.A., Khoreva V.I.</i>	23
<i>Original article</i> Determination of allomelanins in sunflower husk by the gravimetric method	
STUDY OF PLANT GENETIC RESOURCES USING MOLECULAR GENETICS METHODS	33
<i>Eggi E.E., Aleksandrova T.G., Konarev A.V.</i> <i>Original article</i> Identification of vetch species of the genus <i>Vicia</i> L. by the composition of the 11S globulin basic polypeptides of seeds using the example of the <i>V. narbonensis</i> complex and <i>V. pannonica</i> Crantz	
BRIEF COMMUNICATIONS	46
<i>Konarev A.V.</i> <i>Brief communication</i> Biochemistry of cultivated plants and the global collection of VIR in the context of healthy nutrition issues	
<i>Khlestkina E.K., Ukhatoeva Y.V., Loskutov I.G., Vishnyakova M.A., Gavrilenko T.A., Radchenko E.E., Zuev E.V., Shelenga T.V., Lenshin A.A., Shipilina L.Yu., Shvachko N.A., Chukhina I.G., Kotelkina I.V.</i>	53
<i>Brief communication</i> On the results of the Conference "VIR-130: Plant Genetic Resources" (November 5-9, 2024, St. Petersburg)	



Уважаемые читатели!

В настоящем выпуске мы представляем вашему вниманию серию исследований, посвященных разработке и апробации методов экспресс оценки селекционного материала и образцов коллекций генетических ресурсов растений.

В статье Е.А. Ивановой с соавторами приведены итоги изучения диагностической ценности маркеров, характеризующих гены *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* у источников устойчивости картофеля к фитофторозу. Даны рекомендации по дальнейшему применению данных маркеров при использовании конкретных источников.

В работе В.С. Попова с соавторами представлен модифицированный метод определения алломеланинов, фитомеланинов, в лузге и семенах подсолнечника из коллекции ВИР для скрининга коллекции генетических ресурсов растений, направленного на выявление образцов, характеризующихся высоким содержанием меланина. Этот метод позволяет проводить скрининги больших выборок образцов для выявления наиболее перспективных источников устойчивости к повре-

ждающему действию гусениц подсолнечной огневки.

В статье Э.Э. Егги с соавторами предложен метод, включающий идентификацию основных полипептидов 11S глобулина в многокомпонентном спектре белков семян видов рода *Vicia*. Метод рекомендован авторами для быстрого скрининга семенных коллекций представителей рода *Vicia*, а также перспективен для определения видовой принадлежности образцов других двудольных культур.

Дорогие коллеги, 18 января не стало Алексея Васильевича Конарева – потомственного вировца, руководителя отдела биохимии, доктора биологических наук, профессора. В память о нем мы публикуем в настоящем выпуске материалы, подготовленные им, но не успевшие увидеть свет до его ухода. Алексей Васильевич провел обзор исследований, посвященных роли биохимии культурных растений и мировой коллекции ВИР для актуальных сегодня трендов здорового питания и сохранения, восстановления, региональных сред обитания человека с их спецификой пищевого обеспечения.

В текущем номере журнала мы также представляем нашему читателю подробную аналитическую информацию о состоявшемся в ноябре 2024 года комплексном научном мероприятии, посвященном 130-летию ВИР. В рамках мероприятия было представлено более 180 устных докладов. Участие в нем приняли более 300 очных участников и более 1500 онлайн. В публикации приводится анализ основных вопросов и трендов, обозначенных на тематических сессиях и круглых столах данного мероприятия, а также взгляд на них в контексте актуализированных в 2024 году правоустанавливающих документов Российской Федерации в сфере НТР.

Главный редактор,
профессор РАН
Е.К. Хлесткина

Научная статья

УДК 631.522/.524:633.49+632.3

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-03



Молекулярные маркеры как инструмент в селекции картофеля на устойчивость к фитофторозу

Е.А. Иванова, Н.В. Алпатьева, Е.В. Рогозина

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

Автор, ответственный за переписку: Наталья Владимировна Алпатьева, alpatievanatalia@mail.ru

Устойчивость сортов картофеля к фитофторозу (возбудитель – оомицет *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) является одним из приоритетных направлений мировой и отечественной селекции картофеля. Для совершенствования технологии селекционного процесса особую актуальность представляет выявление ДНК-маркеров генов устойчивости, эффективных для отбора ценных сегрегантов в гибридном потомстве. **Цель работы** – определить диагностическую ценность маркеров генов *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-R3b*, *Rpi-blb1* и *Rpi-blb2* для отбора ценных сегрегантов в потомстве клонов межвидовых гибридов из коллекции ВИР – источников признака устойчивости к фитофторозу. **Материалы и методы.** Клоны 171-3 (к-25615), 16/27-09 (к-25628), 8-1-2004 (к-25621) и аборигенный чилийский сорт ‘Magelanes’ (к-7586), 76 клонов гибридов F_1 (‘Magelanes’ $\times$ 171-3), 80 клонов гибридов F_1 (16/27-09 $\times$ 8-1-2004), сорта ‘Алуэт’ (к-25544), ‘Наяда’ (к-12157) и ‘Сударыня’ (к-12206) были проверены на наличие пяти генов *Rpi* и протестированы на устойчивость к фитофторе *P. infestans* в полевых опытах. В качестве маркеров SCAR для генов *Rpi* были использованы *Rpi-R1*-1205, *Rpi-R3b*-377, *Rpi-R8*-1276, *Rpi-blb1*-821, *Rpi-stol*-890 и *Rpi-blb2*-976. Секвенирование ПЦР-ампликонов использовалось для проверки наличия маркера *Rpi-blb2*-976. Экспериментальные данные были оценены с использованием стандартных статистических методов, таких как кластерный анализ, дисперсионный анализ (ANOVA), критерий хи-квадрат (критерий χ^2) и коэффициент ассоциации. **Результаты.** Сорта и клоны межвидовых гибридов картофеля – источники признака устойчивости к фитофторозу и гибриды F_1 от двух разных типов скрещивания, различающихся по реакции на *Phytophthora infestans* родительских форм (среднеустойчивый $\times$ устойчивый и устойчивый $\times$ восприимчивый), охарактеризованы по целевому признаку и наличию SCAR-маркеров генов. Установлено, что родительские формы гибридов F_1 являются симплексами по SCAR-маркерам *Rpi*-генов: сорт ‘Magelanes’ – по маркеру гена *Rpi-R1*, гибрид 171-3 – по маркерам генов *Rpi-R8* и *Rpi-R3b*, клон 16/27-09 – по маркерам генов – *Rpi-R1*, *Rpi-R8* и *Rpi-blb1*. В поколении гибридов F_1 16/27-09 $\times$ 8-1-2004 (тип скрещивания устойчивый $\times$ восприимчивый) выявлена достоверная связь между устойчивостью к фитофторе и наличием маркеров генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* (коэффициент ассоциации $r=0,24$). Диагностическая ценность маркеров двух генов (*Rpi-R8* и *Rpi-blb1*) составляет 85,4%. В поколении гибридов F_1 ‘Magelanes’ $\times$ 171-3 (тип скрещивания среднеустойчивый $\times$ устойчивый) связи между устойчивостью к фитофторозу и наличием маркеров *Rpi*-генов не обнаружено. **Заключение.** Маркеры генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* могут быть использованы в программах селекции картофеля на основе клона 16/27-09, используемого в качестве источника признака устойчивости к фитофторе.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., гибриды F_1 , *Phytophthora infestans*, гены *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-R3b*, *Rpi-blb1*, *Rpi-blb2*, SCAR-маркеры, маркер-ориентированная селекция

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0004 “Совершенствование подходов и методов *ex situ* сохранения идентифицированного генофонда вегетативно размножаемых культур и их диких родичей, разработка технологий их эффективного использования в селекции”

Для цитирования: Иванова Е.А., Алпатьева Н.В., Рогозина Е.В. Молекулярные маркеры как инструмент в селекции картофеля на устойчивость к фитофторозу. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(1):5-22. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-03

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

© Иванова Е.А., Алпатьева Н.В., Рогозина Е.В., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o3

Molecular markers as a tool in potato breeding for late blight resistance

Ekaterina A. Ivanova, Natalia V. Alpatieva, Elena V. Rogozina

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

Corresponding author: Natalia V. Alpatieva, alpatievanatalia@mail.ru

Background. Resistance of potato cultivars to late blight caused by oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary is one of the priority areas of global and domestic potato breeding. To improve the breeding technology, the identification of DNA markers of resistance genes that are effective for the selection of valuable segregants in hybrid offspring is of particular relevance. **Objectives.** The aim of this study was to determine the diagnostic value of the *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-R3b*, *Rpi-blb1*, and *Rpi-blb2* gene markers for the selection of valuable segregants in the progeny of interspecific hybrid clones from the VIR collection – sources of the late blight resistance trait. **Material and methods.** Two families of F_1 hybrids (156 individual plants), their parental clones 16/27-09, 171-3, 8-1-2004, Chilean potato cv. ‘Magelanes’, and potato cvs. ‘Alouette’, ‘Nayada’ and ‘Sudarynya’ were screened for the presence of five *Rpi* genes and tested in field trials for resistance to *P. infestans*. SCAR markers for *Rpi* genes were *Rpi-R1*-1205, *Rpi-R3b*-377, *Rpi-R8*-1276, *Rpi-blb1*-821, *Rpi-stol*-890, and *Rpi-blb2*-976. Sequencing of PCR amplicons was used to verify the presence of *Rpi-blb2*-976 marker. Experimental data were analyzed by standard statistical methods like cluster analysis, analysis of variance (ANOVA), chi-square test (χ^2 test) and coefficient of association. **Results.** Cultivars and clones of interspecific potato hybrids – sources of late blight resistance, and F_1 hybrids from two types of crosses, differing in the reaction of parental forms to late blight (moderately resistant $\times$ resistant, and resistant $\times$ susceptible), were characterized for the target trait and the presence of SCAR gene markers. It was established that SCAR markers for the *Rpi* genes in parental forms of F_1 hybrids are in simplex condition, namely the SCAR marker for the *Rpi-R1* gene in cv. ‘Magelanes’, that for *Rpi-R8* and *Rpi-R3b* in hybrid 171-3, and the marker for *Rpi-R1*, *Rpi-R8* and *Rpi-blb1* in clone 16/27-09. The F_1 progeny of 16/27-09 $\times$ 8-1-2004 hybrid (resistant $\times$ susceptible type cross) demonstrates a reliable relationship between late blight resistance and the presence of markers for *Rpi-R8* and *Rpi-blb1* genes (association coefficient $r=0.24$). The diagnostic value of markers for two genes (*Rpi-R8* and *Rpi-blb1*) is 85.4%.

The F_1 progeny of ‘Magelanes’ $\times$ 171-3 hybrid (moderately resistant $\times$ resistant type cross) showed no association between late blight resistance and the presence of *Rpi* gene markers. **Conclusions.** Markers for *Rpi-R8* and *Rpi-blb1* genes can be used in potato breeding programs which use clone 16/27-09 as a source of late blight resistance.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., F_1 hybrids, *Phytophthora infestans*, *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-R3b*, *Rpi-blb1* genes, SCAR marker, marker-assisted selection

Acknowledgements: The research was carried out within the framework of the State Assignment according to the theme plan of VIR, Project No. 0481-2022-0004 “Improving the approaches and methods for *ex situ* conservation of the identified genetic diversity of vegetatively propagated crops and their wild relatives, development of technologies for their effective utilization in plant breeding”

For citation: Ivanova E.A., Alpatieva N.V., Rogozina E.V. Molecular markers as a tool in potato breeding for late blight resistance. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(1):5-22. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o3

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

© Ivanova E.A., Alpatieva N.V., Rogozina E.V., 2025

Введение

Картофель – культура восприимчивая к широкому кругу болезней и вредителей. Фитофтороз (возбудитель *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) – одно из самых распространенных и вредоносных заболеваний картофеля, представляющее глобальную угрозу продовольственной безопасности (Angmo et al., 2023; Berindean et al., 2024). Ежегодные потери от фитофтороза в разных частях света составляют 3,2-8,8% урожая (Savary et al., 2019), а в России могут достигать 50% (Ivanov et al., 2019). Использование химических средств защиты приводит к появлению новых агрессивных рас фитофторы *P. infestans*, опасно для окружающей среды и существенно повышает стоимость продукции картофелеводства. Поэтому выращивание устойчивых к фитофторе сортов сегодня повсеместно признано лучшим способом борьбы с заболеванием (Angmo et al., 2023; Berindean et al., 2024).

В большинстве регионов России фитофтороз является серьезной проблемой при выращивании картофеля, но использование устойчивых сортов позволяет существенно (на 30-45%) снизить возможные потери (Simakov et al., 2020). Ориентация на экологически чистое земледелие обуславливает необходимость создания сортов, способных давать урожай без применения средств химической защиты растений, и потому устойчивость их к фитофторе – актуальная задача для отечественной селекции. Технология традиционной селекции картофеля основана на скрещивании специально подобранных родительских пар, взаимно дополняющих друг друга по возможно большему числу признаков, и последующей оценке гибридного потомства, продолжительность которой составляет не менее 8 лет (Bradshaw, 2021). Сорт картофеля – это клон, получаемый в результате вегетативного размножения растения, обладающего уникальным генотипом, в котором достигнуто оптимальное сочетание 40-50 признаков.

Устойчивость сортов картофеля к фитофторе обеспечивает интрогрессия генетического материала диких родичей – видов *Solanum* L. секции *Petota* Dumort. Образцы, устойчивые к фитофторе, найдены среди 85 диких видов картофеля, но генетическая природа признака недостаточно исследована. У 27 видов картофеля идентифицирован 61 *R*-ген или *Rpi*-гены (resistance to *Phytophthora infestans*) и у 11 видов обнаружены 37 локусов количественных признаков (QTLs), связанных с этой устойчивостью (Blossei et al., 2022; Paluchowska et al., 2022). Большинство *Rpi*-генов из различных видов *Solanum* кодируют белки с сайтом связывания нуклеотидов и повторами, богатыми лейцином (NB-LRR или NBS-LRR). Такие белки могут действовать как цитоплазматические рецепторы и, в случае распознавания специ-

фических для патогена белков-эффекторов, запускают каскад передачи сигнала, что приводит к индуцированной гибели клеток из-за реакции гиперчувствительности (Rodewald, Trognitz, 2013; Khavkin, 2021). Известны *Rpi*-гены гомологи/ортологи с высокой степенью сходства нуклеотидных последовательностей, поэтому истинное число функциональных генов может быть меньше, чем приведено в обзорных статьях (Gopa, 2023; Gurina et al., 2024).

Rpi-гены различаются по эффективности защитного действия. Гены *Rpi-blb1(RB)*, *Rpi-blb2*, *Rpi-blb3*, идентифицированные у диплоидного мексиканского вида *S. bulbocastanum* Dun., проявляют широкий спектр действия и обеспечивают защиту против большинства известных рас возбудителя фитофтороза. Гены *Rpi-R1*, *Rpi-R2*, *Rpi-R3* гексаплоидного североамериканского вида *S. demissum* Lindl., являются расо-специфичными, обеспечивая устойчивость лишь к отдельным расам *P. infestans* (Paluchowska et al., 2022; Berindean et al., 2024). Современные программы селекции картофеля на устойчивость к возбудителю фитофтороза направлены на создание сортов с длительной устойчивостью на основе пирамидирования *Rpi*-генов и QTLs с использованием методов маркер-опосредованной селекции (Angmo et al., 2023; Berindean et al., 2024). Для идентификации и отбора ценных сегрегантов, а далее получение линий (популяций) картофеля, устойчивых к фитофторе, исследователи разрабатывают и апробируют ДНК-маркеры разных типов (Chen et al., 2017; Angmo et al., 2023; Berindean et al. 2024; Enciso-Maldonado et al., 2024; Islam et al., 2024).

В российских селекционных программах в качестве исходного материала используют сорта или клоны межвидовых гибридов, созданные на основе диких и культурных родичей картофеля (Rogozina, Khavkin, 2017; Simakov et al., 2017). По результатам молекулярного скрининга среди отечественных сортов и селекционного материала выявлены сорта и клоны с маркерными фрагментами генов *R1*, *R2*, *R3a*, *R3b*, *Rpi-blb1/Rpi-stol* (Gavrilenko et al., 2018; Gadjiyev et al., 2020; Shanina et al., 2018; Zoteyeva et al., 2022; Koroleva et al., 2024). В коллекции ВИР представлены клоны межвидовых гибридов, в родословных которых есть от двух до девяти видов *Solanum*, включая дикие североамериканские (*S. stoloniferum* Schlecht., *S. bulbocastanum*, *S. polytrichon* Rydb., *S. pinnatisectum* Dun., *S. vallis-mexici* Juz.), южноамериканские (*S. berthaultii* Hawkes, *S. microdontum* Bitt., *S. simplicifolium* Bitter, *S. acaule* Bitt., *S. spegazzinii* Bitt., *S. alandiae* Card., *S. chacoense* Bitt., *S. okadae* Hawkes et Hjerting) и окультуренные (*S. andigenum* Juz. et Buk., *S. phureja* Juz. et Buk., *S. rybinii* Juz. et Buk.) виды¹. По результатам молекулярного скрининга у клонов межвидо-

¹ Примечание редактора: приведённые здесь названия *S. andigenum* Juz. et Bukasov., *S. phureja* Juz. et Bukasov., *S. rybinii* Juz. et Bukasov., а также упоминающееся в разделе «Обсуждение» название *S. chilotanum* Hawkes являются синонимами названия *Solanum tuberosum* L. См. на сайте Королевских Ботанических Садов Кью. Editor's Note: the names *S. andigenum* Juz. et Bukasov., *S. phureja* Juz. et Bukasov., *S. rybinii* Juz. et Bukasov. given here, as well as the name *S. chilotanum* Hawkes mentioned in the Discussion section are synonyms of the name of *Solanum tuberosum* L. Visit the site of the Royal Botanic Gardens, Kew, <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names/>

вых гибридов из коллекции ВИР – источников устойчивости к фитофторе – выявлены маркеры генов *Rvi* – R1, R2, R3a, R3b, *Rpi-blb1*, *Rpi-blb2*, R8, *Rpi-vntl* (Rogozina et al., 2021).

Цель работы – изучить характер наследования признака устойчивости к возбудителю фитофтороза и маркеров *Rvi*-генов – R1, R3b, *Rpi-blb1*, *Rpi-blb2*, R8; оценить эффективность использования ДНК-маркеров при отборе форм, устойчивых к фитофторе; провести сопряженный молекулярно-генетический анализ и фенотипическую оценку двух популяций гибридов F_1 , полученных от скрещивания образцов из коллекции картофеля ВИР – источников признака устойчивости к возбудителю фитофтороза.

Материал и методы

Растительный материал: аборигенный чилийский сорт картофеля ‘Magelanes’ (к-7586), клоны 171-3 (к-25615), 16/27-09 (к-25628), 8-1-2004 (к-25621), 76 гибридов F_1 комбинации ‘Magelanes’ × 171-3 и 80 гибридов F_1 комбинации 16/27-09 × 8-1-2004, контроль – сорта ‘Алуэт’ (к-25544), ‘Наяда’ (к-12157), ‘Сударыня’ (к-12206) и ‘Early Rose’ (к-22144). Родительские формы и сорта картофеля ранее были охарактеризованы по устойчивости к возбудителю фитофтороза и наличию SCAR-маркеров *Rpi*-генов (Beketova et al., 2021, Rogozina et al., 2021).

Клоны межвидовых гибридов 171-3, 16/27-09 и 8-1-2004 созданы методом половой гибридизации с последующим отбором по хозяйственно-полезным признакам и по устойчивости к болезням и вредителям; по происхождению клоны представляют собой три разные группы селекционного материала, созданные на основе образцов видов *Solanum* L., сортов и селекционных линий картофеля из коллекции ВИР (Rogozina et al., 2018). По результатам многолетних полевых испытаний, клоны межвидовых гибридов 171-3, 16/27-09 охарактеризованы как устойчивые к возбудителю фитофтороза, клон 8-1-2004 – слабоустойчивый. Устойчивость клонов 171-3, 16/27-09 к фитофторе подтверждают результаты искусственного заражения с использованием агрессивного изолята *P. infestans* из коллекции Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ). Клоны 171-3, 16/27-09 и 8-1-2004 обладают комплексом селекционно-ценных качеств: по морфологическим признакам наземной части растений и клубней соответствуют культурному типу картофеля, имеют среднюю или высокую продуктивность (450-800 г/куст), вкус хороший (4,0-4,5 балла), среднее или высокое содержание крахмала (14,9-21,7%), фертильны и вовлечены в скрещивания с сортами или селекционными линиями в Федеральном исследовательском центре картофеля имени А.Г. Лорха и в ВИР (Simakov et al., 2017; Rogozina et al., 2018).

Гибриды F_1 отобраны среди семян двух комбинаций скрещивания: ‘Magelanes’ × 171-3 и 16/27-09 × 8-1-2004. Посев в 2018 году 100 семян комбинации ‘Magelanes’ ×

171-3 (2017 год репродукции) позволил получить 86 семян, из которых 83 сформировали клубни. Посев в 2022 году 100 семян комбинации 16/27-09 × 8-1-2004 позволил получить 84 семени, из которых 80 сформировали клубни. Поддержание гибридов F_1 в коллекции ВИР осуществляется путем ежегодного получения клубневой репродукции на опытном поле Научно-практической базы (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Гибриды ‘Magelanes’ × 171-3 и 16/27-09 × 8-1-2004, родительские формы обеих комбинаций и сорта ‘Алуэт’, ‘Наяда’, ‘Early Rose’ оценены по устойчивости к фитофторе; все гибриды F_1 , их родительские формы и сорта ‘Алуэт’, ‘Наяда’ и ‘Сударыня’ оценены по наличию SCAR-маркеров *Rpi*-генов.

Оценка на устойчивость к возбудителю фитофтороза проведена в полевых условиях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Родительские формы комбинации ‘Magelanes’ × 171-3 и 76 гибридов F_1 оценены на устойчивость к возбудителю фитофтороза в 2019-2024 годах. Родительские формы комбинации 16/27-09 × 8-1-2004 и 80 гибридов F_1 оценены на устойчивость к фитофторе в 2023-2024 годах. Сорта ‘Алуэт’, ‘Наяда’, ‘Early Rose’ использованы в качестве контролей. Растения оценивали в начальный период появления фитофтороза и в конце вегетации по 9-бальной шкале, от 1 балла (полное поражение растения) до 9 баллов (отсутствие симптомов болезни) (Kiru et al., 2010).

Молекулярно-генетический анализ. Геномную ДНК выделяли из молодых листьев растений с использованием жидкого азота модифицированным СТАБ-методом по известной методике (Gavrilenko et al., 2013). Гомогенизацию растительной ткани проводили на приборе TissueLyser LT (QIAGEN, Нидерланды) в течение 45 сек. Для проверки качества ДНК и исключения ложно-отрицательных результатов в качестве внутреннего контроля использовали ген «домашнего хозяйства» актин, данные приведены в GenBank: XM_015308091.1 (GenBank, 2024). ПЦР проводили с помощью праймеров: F (5'-GCTCCCCGATGGTCAAGTCA-3'), R (5'-GGATTCCAGCTGCTTCCATTC-3').

Маркерные фрагменты генов *Rpi-R1*, *Rpi-R3b*, *Rpi-R8*, *Rpi-blb1* и *Rpi-blb2* амплифицировали с помощью праймеров, представленных в таблице 1, при температурах отжига, соответствующих данным литературы. ПЦР в двукратной повторности проводили с использованием реактивов «Диалат Лтд» (Россия), в 20 мкл реакционной смеси: 1,5 мкл ДНК, 12,6 мкл H_2O , 1,8 мкл dNTPs, 2,0 мкл 10× реакционный буфер, 1,2 мкл $MgCl_2$, 0,4 мкл прямого и обратного праймеров (10 пМ), 0,15 мкл Taq ДНК-полимеразы. Реакцию осуществляли на амплификаторах MiniAmp Plus Thermal Cycler (Thermo Fisher Scientific, США). Электрофоретическое разделение амплифицированных фрагментов осуществляли в буфере 1xTBE в 1,5% агарозном геле с последующей окраской бромистым этидием и визуализацией в УФ-свете на приборе GelDoc Go Gel Imaging System (Bio Rad, США). Стандартом слу-

жили маркеры молекулярной массы Step 100 (1000 bp) и Step 100 Long (3000 bp) (ООО Биолабмикс, Россия).

Таблица 1. ДНК-маркеры *Rpi*-генов использованные в молекулярном скрининге
Table 1. DNA markers for *Rpi* genes used in molecular screening

Ген (Хромосома) / Gene (Chromosome)	Маркер (размер, пн)/ Marker (size, bp)	Нуклеотидная последовательность праймеров (5' → 3')/ Primer sequences (5' → 3')	T (°C)	Ссылка/ Reference
<i>Rpi-R1</i> (5)	Rpi-R1 (1205)	F-cactcgtgacatacctcacta	61	Sokolova et al., 2011
		R-gtagtacatctattttctgaagaat		
<i>Rpi-R3b</i> (11)	Rpi-R3b (377)	F-gtcgatgaatgctatgtttctcgaga	64	Rietman et al., 2012
		R-accagtttctgcaattccagattg'		
<i>Rpi-R8</i> (9)	Rpi-R8 (1276)	F-aacaagagatgaattaagtcggtagc	63	Vossen et al., 2016
		R-gctgtaggtgcaatgttgaagga		
<i>Rpi-blb1</i> (8)	Rpi-blb1 (821)	F-aacctgtatggcagtgccatg	62	Wang et al., 2008
		R-gtcagaaaaggcactcgtg		
	Rpi-sto1 (890)	F-accaaggccacaagattctc	65	Haesaert et al., 2015
		R-cctgcggttcggtaataca		
<i>Rpi-blb2</i> (6)	Rpi-blb2 (976)	F-ggactgggtaacgacaatcc	58	van der Vossen et al., 2005, Wang et al., 2008

Нуклеотидные последовательности ампликонов, полученных с помощью праймеров Rpi-blb2-976, определяли по методу Сэнгера на приборе ABI 3500xl Genetic Analyzer (Applied Biosystems, США) в ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИ-ИСХМ). Секвенировали по одному фрагменту родительских образцов ‘Magelanes’ (к-7586), 171-3 (к-25615), 16/27-09 (к-25628), 8-1-2004 (к-25621) в двух направлениях. Выравнивание полученных последовательностей проводили с помощью программ MEGA Version 7.0 (Kumar et al., 2016) и BioEdit (Hall, 1999). Позиции нуклеотидов и аминокислот соответствуют их нумерации в последовательностях гена *Rpi-blb2* *S. bulbocastanum* (GenBank: DQ122125.1) и белка Mi-1 *Solanum lycopersicum* L. (GenBank: AAC97933.1) соответственно (GenBank, 2024).

У гибридов выявление SNP в последовательностях амплифицированных фрагментов, полученных с помощью праймеров Rpi-blb2-976 проводили с помощью рестриктаз *Hpa*II и *Hind*III в объеме 10 мкл посредством ферментов по протоколу фирмы производителя SibEnzyme (Россия). Электрофорез продуктов рестрикции проводили в 1,5-3% агарозном геле с последующим окрашиванием гелей раствором бромистого этидия.

Экспериментальные данные обрабатывали методами описательной статистики, корреляционного и кластерного анализа в программе Excel и Statistica Basic Academic 13 (StatSoft Russia, 2024). Соответствие фактического и теоретически ожидаемого расщеплений в гибридных популяциях по наличию ДНК-маркеров *Rpi*-генов оценивали с помощью критерия согласия Пирсона (χ^2 , хи-квадрат), взаимосвязь качественных признаков – устойчивости к возбудителю фитофтороза и наличия ДНК-маркеров *Rpi*-генов – с помощью коэффициента ассоциации (по формуле Юла). Для группировки гибридов F_1 по устойчивости к фитофторе проводили иерархическую классификацию, методом полной связи с использованием евклидова расстояния, и кластеризацию методом k-средних. Существенность различий между группами оценивали методом дисперсионного анализа. Нуль гипотезу отвергали при уровне значимости $\alpha \leq 0,05$.

Результаты

Оценка сортов и селекционных клонов картофеля по устойчивости к *Phytophthora infestans* и наличию SCAR-маркеров *Rpi*-генов. Растения гибридов F_1 , родительских форм и сортов картофеля в годы изучения поражались фитофторой в разной степени, в зависимо-

сти от метеоусловий в периоды вегетации, которые были неодинаково благоприятны для фитопатогена *P. infestans*. Метеоусловия вегетационных периодов, наблюдавшиеся в годы проведения полевых испытаний, характеризовались существенной неоднородностью: обеспеченность теплом и влагой варьировала в значительной степени (рис. 1, 2). В 2019 году прохладная погода в июле-августе способствовала развитию и распространению фитофторы, однако осадков в летние месяцы выпало почти в два раза меньше по сравнению со средними многолетними наблюдениями. Первые симптомы фитофтороза на сорте 'Early Rose' появились шестого августа. В конце августа у сортов 'Наяда' и 'Magelanes' около 50% листовой поверхности были поражены фитопатогеном, несколько меньше был поражен клон 16/27-09 (30% листовой поверхности), единичные инфекционные пятна были отмечены на растениях сорта 'Алуэт'. Клон 171-3 сохранял высокую устойчивость к фитопатогену (7 баллов) до конца вегетации – в первых числах сентября (табл 2).

Лето 2020 года также отличалось пониженной температурой во второй половине вегетации, а количество осадков в июле и в августе превышало средние много-

летние значения. У растений сорта 'Early Rose' к концу первой декады августа более 70% листовой поверхности было поражено фитофторой (3 балла). В конце августа у сорта 'Алуэт' и у клона 171-3 фитофтороз был выражен слабо (единичные пятна на листовой поверхности). К началу сентября у сорта 'Алуэт' и клона 16/27-09 поражение составило 3 балла, тогда как клон 171-3 сохранял высокую устойчивость к фитопатогену (7 баллов).

Вегетационный период 2021 года характеризовался очень высокими температурами в летний период и засухой в июне-июле, на смену которой пришли обильные осадки в августе. Сорт 'Early Rose' (ранний по срокам созревания) окончил вегетацию до появления симптомов фитофтороза. На растениях другого восприимчивого сорта – 'Bintje' – симптомы фитофтороза отмечены 25 августа. Развитие фитофтороза на растениях картофеля завершающих вегетацию в сентябре было замедленным. В середине сентября сорт 'Алуэт' оставался слабо пораженным заболеванием, несколько большим было поражение клона 16/27-09 (6 баллов); растения клона 171-3 в значительной степени были поражены фитофторозом (3 балла).

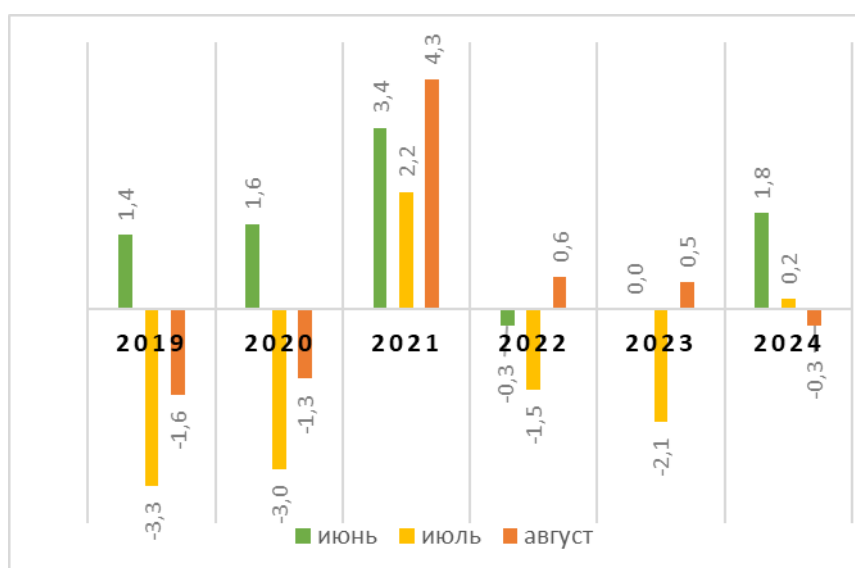


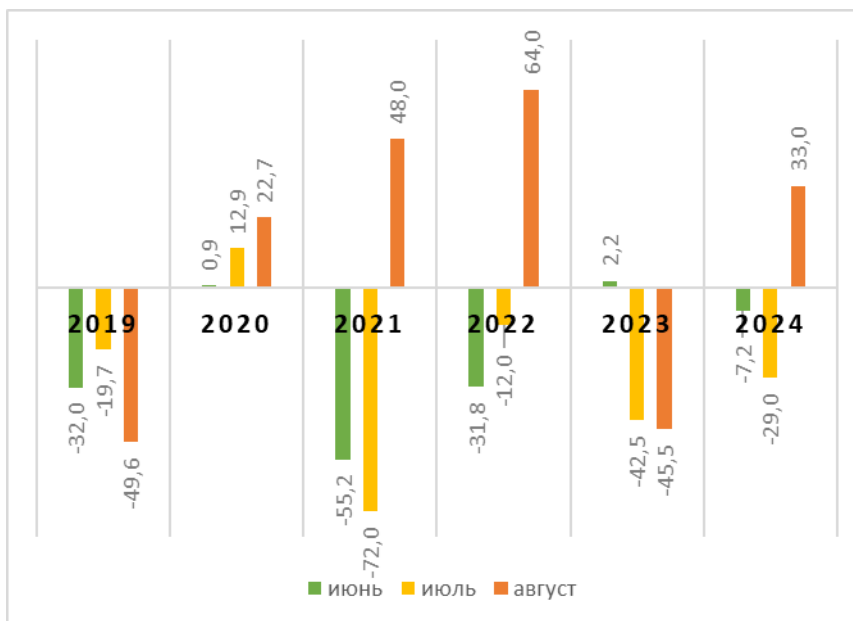
Рис. 1. Различия месячных температур воздуха (°C) относительно средних значений в летние месяцы 2019-2024 годов. Санкт-Петербург, Пушкин

Fig. 1. Differences in monthly air temperatures (°C) relative to the average values in summer months of 2019-2024. St. Petersburg, Pushkin

Green – June; Orange – July; Red – August

В июне и июле 2022 года погода была прохладнее, температура воздуха ниже, осадков выпало меньше, по сравнению со средними многолетними значениями, а более теплый август сопровождался обильными осадками. Сорт 'Early Rose' в начале августа был полностью поражен фитофторозом, растения клона 8-1-2004 к этому

времени уже закончили вегетацию. Наибольшая устойчивость к концу августа отмечена у сорта 'Алуэт' (7 баллов) и у клона 171-3 (6 баллов). Быстро развивалась инфекция на растениях сорта 'Наяда' и клона 16/27-09, у которых к концу второй декады месяца поражение фитофторозом составило 3 и 5 баллов соответственно (табл. 2).



**Рис. 2. Различия в месячном количестве осадков (мм) относительно средних значений в летние месяцы 2019-2024 годов
Санкт-Петербург, Пушкин**

Fig. 2. Differences in monthly precipitation (mm) relative to the average values in summer months of 2019-2024. St. Petersburg, Pushkin

В 2023 году июль был также прохладным, дефицит осадков отмечен в июле и в августе. В конце августа у сорта 'Алуэт' и у клонов 171-3 и 16/27-09 отмечено поражение фитофторозом не более 25-30% листовой поверхности (6-7 баллов). В 2024 году при повышенной температуре в июне осадков было меньше нормы, а сильные ливни и прохладные температуры в августе способствовали быстрому развитию фитофтороза. Почти полное поражение растений сортов 'Наяда', 'Алуэт' и клона 16/27-09 отмечено в середине августа, у клона 171-3 – на две недели позднее (см. табл. 2).

Данные ПЦР анализа сортов картофеля и родительских форм гибридов F_1 в основном согласуются с результатами ранее проведенного скрининга (Beketova et al., 2021; Rogozina et al., 2021). У сорта 'Magelanes' подтверждено наличие маркеров генов *Rpi-R1* и *Rpi-blb2*, у клона 171-3 – наличие маркеров генов *Rpi-R3b* и *Rpi-R8*, у клона 16/27-09 – наличие маркеров четырех генов: *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-blb1* и *Rpi-blb2*, у клона 8-1-2004 – наличие маркера гена *Rpi-blb2*. У сорта 'Алуэт' подтверждено наличие гена *Rpi-R3b*, у сорта 'Наяда' маркеров генов *Rpi-R1*, *Rpi-R8* и *Rpi-blb2*, у сорта 'Сударыня' – маркеров генов *Rpi-blb1* и *Rpi-blb2*.

Нами обнаружены маркеры гена *Rpi-blb2* не только у сортов 'Magelanes', 'Наяда' и у клона 16/27-09, но и у сорта 'Алуэт', и у клона 171-3 (см. табл. 2). Для верификации выявленных ампликонов были секвенированы ПЦР фрагменты, полученные у родительских форм – сорта 'Magelanes', клонов 16/27-09, 171-3, 8-1-2004 и гибридов F_1 .

Оценка устойчивости к *Phytophthora infestans* и наличие SCAR-маркеров *Rpi*-генов у гибридов F_1 картофеля. Полевые испытания гибридов F_1 выявили различия между генотипами обеих популяций по реакции на фитофтору. У гибридов 'Magelanes' × 171-3 показатель средней устойчивости популяции к фитопатогену составил 5-7 баллов. Доля гибридов, устойчивость которых соответствовала или была выше, чем устойчивость лучшей родительской формы – клона 171-3 – варьировала в значительной степени в зависимости от года испытания (табл. 3). Значительная часть (73% и 59%) гибридов 'Magelanes' × 171-3 охарактеризованы как высокоустойчивые в 2020 и 2021 годах, соответственно. Наименьшая доля гибридов (2%) этой популяции охарактеризованы как высокоустойчивые в 2023 году (см. табл. 3).

У гибридов 16/27-09 × 8-1-2004 средняя устойчивость популяции к фитофторе – 5 баллов – выявлена в оба года испытаний. Доля гибридов, устойчивость которых к фитофторе соответствует или выше устойчивости лучшей родительской формы – клона 16/27-09, составляет 15-24% (см. табл. 3). Сравнение результатов оценки гибридов обеих популяций в 2023 и 2024 годах показывает, что в 2023 году доля высокоустойчивых генотипов среди гибридов 16/27-09 × 8-1-2004 больше, чем среди гибридов 'Magelanes' × 171-3, в 2024 году различий не выявлено (см. табл. 3).

Таблица 2. Степень поражения растений фитофторозом и SCAR-маркеры *Rpi*-генов у сортов и селекционных клонов картофеля

Table 2. The degree of late blight plant damage and SCAR markers for *Rpi* genes in potato cultivars and breeding clones

Сорт, клон/ Cultivar, breeding clone	Степень поражения фитофторозом в конце вегетации в годы испытаний: дата (балл)/ The degree of late blight infection at the end of the growing season in the test years: date (score)						SCAR-маркеры <i>Rpi</i> -генов/ SCAR markers for <i>Rpi</i> genes
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
‘Magelanes’	27.08 (5)	18.08 (6)	2.09 (5)	19.08 (7)	21.08 (4)	16.08 (3)	Rpi-R1-1205 Rpi-blb2-976
171-3	4.09 (7)	4.09 (7)	16.09 (3)	24.08 (6)	31.08 (7)	26.08 (2)	Rpi-R3b-377 Rpi-R8-1276 Rpi-blb2-976
16/27-09	27.08 (6)	4.09 (3)	16.09 (6)	19.08 (5)	31.08 (6)	14.08 (2)	Rpi-R1-1205 Rpi-R8-1276 Rpi-blb1-821 Rpi-sto1-890 Rpi-blb2-976
8-1-2004	14.08 (7)	11.08 (7)	30.08 (5)	нет данных	15.08 (1)	2.08 (7)	Rpi-blb2-976
‘Алуэт’	27.08 (8)	4.09 (3)	16.09 (7)	29.08 (7)	31.08 (6)	14.08 (2)	Rpi-R3b-377 Rpi-R8-1276 Rpi-blb2-976
‘Наяда’	27.08 (5)	24.08(6)	31.08 (6)	19.08 (3)	21.08 (5)	14.08 (1)	Rpi-R1-1205 Rpi-R8-1276 Rpi-blb2-976
‘Early Rose’	5.08 (6)	11.08 (3)	нет данных	1.08 (1)	8.08 (1)	2.08 (1)	Rpi-blb2-976*

*по данным Rogozina et al., 2021

Таблица 3. Устойчивость гибридов F_1 к фитофторе

Table 3. Resistance of F_1 hybrids to late blight

Дата/Date	Число гибридов/ Number of hybrids	Распределение гибридов F ₁ на группы по устойчивости* (балл)/ F ₁ hybrid distribution into resistance groups (score)			Устойчивость к фитофторе (средний балл)/ Late blight resistance (average score)	
		R (7-9)	MR (4-6)	S (1-3)	Гибриды/ Hybrids	Родительские формы/ Parents
‘Magelanes’ × 171-3						
27.08.2019	79	32	30	18	5	7/5
26.08.2020	79	58	19	2	7	7/4
30.08.2021	79	47	26	6	6	5/5
26.08.2022	78	27	28	23	5	6/6
24.08.2023	76	2	71	3	5	8/4
05.08.2024	76	15	43	18	5	8/8
16/27-09 × 8-1-2004						
24.08.2023	80	19	47	14	5	7/1
05.08.2024	80	12	51	17	5	8/7

*R – устойчивый, MR – среднеустойчивый, S – восприимчивый

На основе результатов полевых испытаний по устойчивости к фитофторе в обеих популяциях проведен иерархический кластерный анализ и кластеризация методом k -средних гибридов F_1 и их родительских форм. Объекты – гибриды и родительские формы в каждой популяции – при использовании двух подходов были сгруппированы сходным образом в два класте-

ра (рис. 3а, б). В популяции ‘Magelanes’ × 171-3 в первом кластере сгруппированы сорт ‘Magelanes’ и 23 гибрида, неустойчивых к фитофторе (31% поколения F_1), средняя оценка этой группы составляет 2,1-6,1 балла в зависимости от года испытаний. Во второй кластер сгруппированы 52 гибрида и клон 171-3. Генотипы второго кластера более устойчивы к фитофторе, средняя оценка этой груп-

пы 5,3-7,3 балла (рис. 3.а).

В популяции гибридов 16/27-09 × 8-1-2004 также два кластера: в первом кластере клон 16/27-09 и 47 гибридов устойчивых к фитофторе (59% поколения F_1), средняя оценка этой группы составляет 5,7-6,0 баллов. Во второй кластер сгруппированы 33 гибрида и клон 8-1-2004, средняя оценка этой группы 3,5-3,6 баллов (рис. 3б).

Верификация группировки гибридов F_1 в каждой популяции по устойчивости к фитофторе на два кластера произведена методом дисперсионного анализа, по результатам которого нуль-гипотеза о равенстве в каждой популяции средних величин двух кластеров по устойчивости к фитофторе в полевых условиях отклонена ($p < 0,05$).

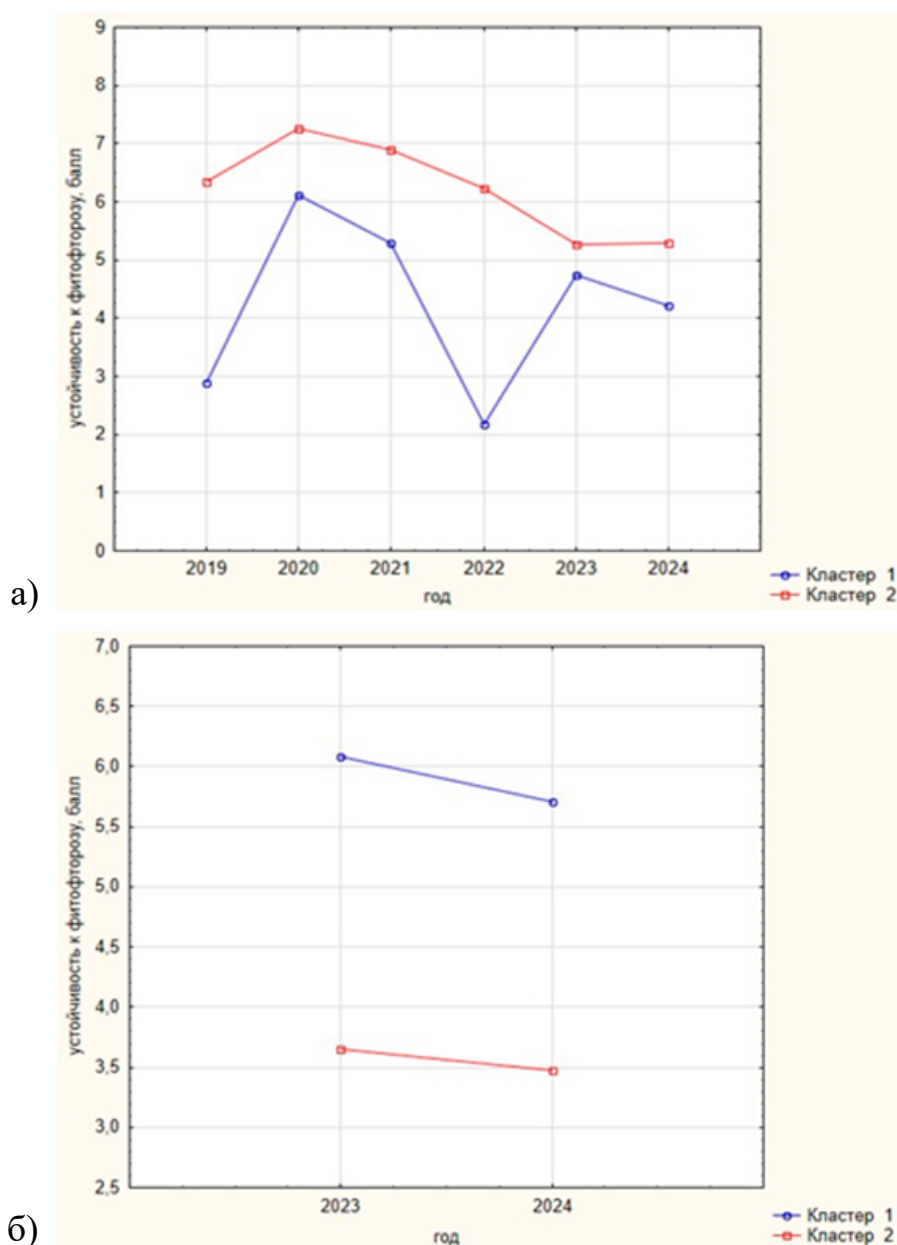


Рис. 3. Группировка гибридов F_1 по реакции на фитофтору методом к-средних. а) 'Magelanes' × 171-3, б) 16/27-09 × 8-1-2004

Fig. 3. K-means clustering of F_1 hybrids based on their reaction to late blight.

а) 'Magelanes' × 171-3, б) 16/27-09 × 8-1-2004

Маркерный анализ выявил у гибридов F_1 расщепление по маркерам генов *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-blb1* и *Rpi-blb2* (табл. 4). Среди гибридов ‘Magelanes’ × 171-3 маркеры генов *Rpi-R1*, *Rpi-R3b*, *Rpi-R8* идентифицированы у 34, 28 и 43 генотипов, соответственно. Маркер гена *Rpi-blb2*

идентифицирован у всех 76 генотипов. Среди гибридов 16/27-09 × 8-1-2004 маркеры генов *Rpi-R1*, *Rpi-blb1*, *Rpi-R8* идентифицированы у 44, 43 и 38 генотипов, соответственно; маркер гена *Rpi-blb2* идентифицирован у 69 генотипов (см. табл. 4).

Таблица 4. Расщепление у гибридов F_1 по SCAR-маркерам *Rpi*-генов

Table 4. Segregation in F_1 hybrids by SCAR markers of *Rpi* genes

Происхождение гибридов F_1 (число изученных)/ F_1 hybrids origin (number studied)	SCAR-маркер/ SCAR marker	Отношение генотипов (маркер обнаружен: не обнаружен)/ genotype ratio (marker presence: absence)		χ^2	P
		Наблюдаемое/ observed	Теоретически ожидаемое/expected		
‘Magelanes’ × 171-3 (76)	Rpi-R1-1205	34:42	1:1	0,84	0,3-0,5
“	Rpi-R3b-377	28:48	13:15	2,59	0,1-0,2
“	Rpi-R8-1276	43:33	1:1	1,32	0,2-0,3
“	Rpi-blb2-976	76:0	н.о.*	н.о.	н.о.
16/27-09 × 8-1-2004 (80)	Rpi-R1-1205	44:36	1:1	0,80	0,3-0,5
“	Rpi-blb1-821+ Rpi- sto1-890	43:37	1:1	0,45	0,50
“	Rpi-R8-1276	38:42	1:1	0,2	0,5-0,7
“	Rpi-blb2-976	69:11	11:1	2,50	0,1-0,2

*н.о. – не определено

Расщепление в обеих популяциях гибридов F_1 по маркеру гена *Rpi-R1* достоверно не отличается от соотношения 1:1 (критерий $\chi^2 < \chi^2 = 3,84$ при $p=0,05$). Расщепление в обеих популяциях гибридов F_1 по маркеру гена *Rpi-R8* также достоверно не отличается от соотношения 1:1. В популяции гибридов (16/27-09 × 8-1-2004) оба маркера гена *Rpi-blb1* наследуются сцепленно, расщепление достоверно не отличается от соотношения 1:1 (см. табл. 4). У тетраплоидного картофеля расщепление у гибридов F_1 в соотношении 1:1 соответствует теоретически ожидаемому для потомства от скрещивания симплекс × нуллиплекс ($Rrrr \times rrrr$).

Расщепление в популяции гибридов F_1 ‘Magelanes’ × 171-3 по маркеру гена *Rpi-R3b* отличается от соотношения 1:1 ($\chi^2=6,2$ $p=0,01-0,02$). Полученное в нашем опыте расщепление соответствует теоретически ожидаемому 13:15, которое у тетраплоидного картофеля наблюдается у гибридов F_1 от скрещивания симплекс × нуллиплекс, а также в случае хроматидного расщепления (Yashina, Sklyarova, 1973).

В популяции ‘Magelanes’ × 171-3 расщепления по маркеру гена *Rpi-blb2* не обнаружено (см. табл. 4). У тетраплоидного картофеля отсутствие расщепления в семьях F_1 по анализируемому признаку, в данном случае по маркерному фрагменту гена *Rpi-blb2*, может быть следствием наличия трех доминантных аллелей в локусе, а именно $RRRr$ у одной из родительских форм (Yashina, Sklyarova, 1973). Расщепление в популяции 16/27-09 × 8-1-2004 по маркеру гена *Rpi-blb2* достоверно не отличается от соот-

ношения 11:1, которое соответствует теоретически ожидаемому при скрещивании дуплекс × симплекс ($RRrr \times Rrrr$).

Анализ характера наследования ДНК-маркеров в каждой комбинации (см. табл. 4) позволил определить степень гетерозиготности по SCAR-маркерам *Rpi*-генов у трех родительских форм. Сорт ‘Magelanes’ является симплексом по маркеру гена *Rpi-R1*; гибрид 171-3 – симплекс по маркерным фрагментам генов *Rpi-R8* и *Rpi-R3b*; клон 16/27-09 – симплекс по маркерам каждого из генов: *Rpi-R1*, *Rpi-R8* и *Rpi-blb1*.

При скрининге гибридов F_1 и их родительских форм (сорта ‘Magelanes’ и клонов 171-3, 16/27-09, 8-1-2004) с использованием праймеров, рекомендованных для детекции гена *Rpi-blb2*, были получены фрагменты ожидаемой длины у всех родительских форм для всех 76 гибридов ‘Magelanes’ × 171-3 и у 69 из 80 гибридов 16/27-09 × 8-1-2004 (см. табл. 2, 4). Маркер Rpi-blb2 был разработан на С-концевой фрагмент гена, причем места отжига праймеров захватывали область, кодирующую богатые лейцином повторы (Leucine Rich Repeats) длиной в 21, 22, 24, 29, 33 аминокислот каждый (van der Vossen et al, 2005; Wang et al., 2008). С целью верифицировать ампликоны и определить возможность использования предложенных праймеров для идентификации гена *Rpi-blb2*, ПЦР фрагменты, полученные для родительских форм, были секвенированы.

Нуклеотидные последовательности всех проанализированных ампликонов были идентичны друг

другу, но отличались от последовательности гена *Rpi-blb2* (GenBank: DQ122125.1) множественными SNP и двумя девятынклетидными делециями в позициях 4290-4298 пн и 4467-4475 пн соответственно (рис. 4). Кроме того, предполагаемые аминокислотные последовательности фрагментов также существенно отличались

от референсных белков Mi-1 (*S. lycopersicum* GenBank: AAC97933.1) и Rpi-blb2 (*S. bulbocastanum* GenBank: AAZ95005), двумя делециями, аминокислотными заменами и двумя преждевременными стоп-кодонами, причем один – в области, фланкирующей LLR повторы, второй – в третьем LLR повторе (рис. 5).

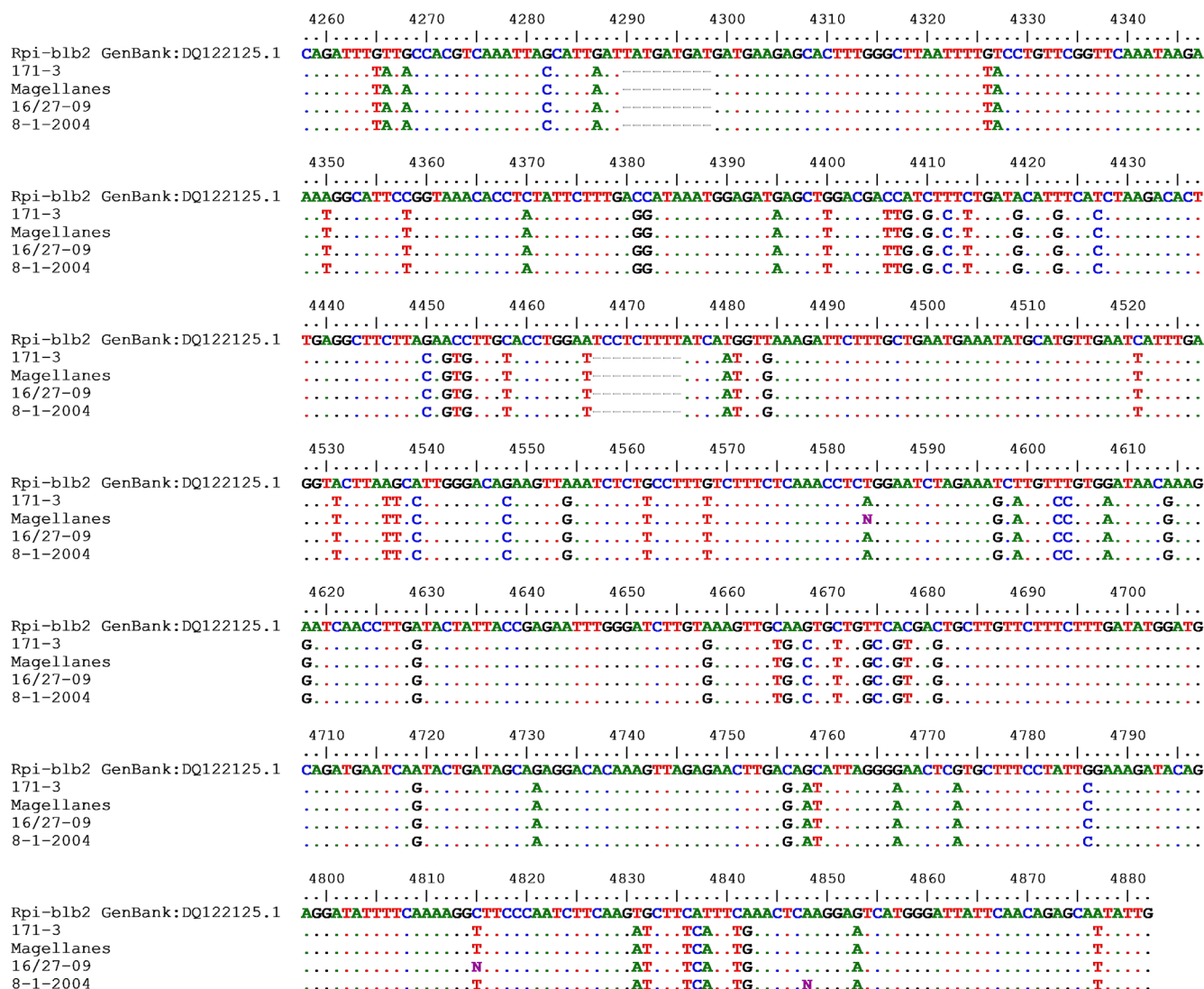


Рис. 4. SNPs и делеции в нуклеотидных последовательностях маркерных фрагментов Rpi-blb2-976 у родителей гибридов F₁ по сравнению с последовательностью гена *Rpi-blb2* *S. bulbocastanum* (GenBank: DQ122125)

Нумерация нуклеотидов приведена в соответствии с последовательностью GenBank: DQ122125.1 (GenBank, 2024)

Fig. 4. SNPs and deletions in Rpi-blb2-976 marker fragments from the parents of F₁ hybrids compared to the prototype gene *Rpi-blb2* from *S. bulbocastanum* (GenBank: DQ122125)

Nucleotides are numbered according to the GenBank accession no. DQ122125.1 (GenBank, 2024)

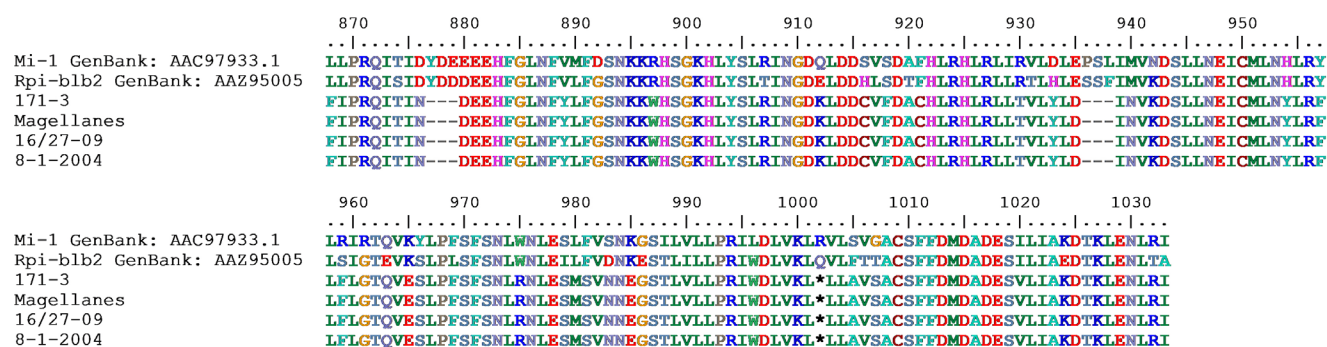


Рис. 5. Аминокислотные замены, делеции и стоп кодон в предполагаемых аминокислотных последовательностях у родительских форм гибридов F_1 по сравнению с белками Mi-1 (*S. lycopersicum*) GenBank: AAC97933.1 и *Rpi-blb2* (*S. bulbocastanum*) GenBank: AAZ95005 (фрагмент)

*а – стоп кодон в последовательности третьего повтора в области LLR домена

Нумерация аминокислот приведена в соответствии с последовательностью GenBank: AAC97933.1 (GenBank, 2024)

Fig. 5. Amino acid substitutions, deletions and stop codon in the putative amino acid sequences in parents of F_1 hybrids compared to the Mi-1 proteins (*S. lycopersicum*) (GenBank: AAC97933.1) and *Rpi-blb2* (*S. bulbocastanum*) (fragment)

* – stop codon in the sequence of the third repeat in the LLR domain region

Amino acids are numbered according to the GenBank accession no. AAC97933.1 (GenBank, 2024)

Таким образом, ампликоны, полученные с помощью праймеров *Rpi-blb2*-976 и имеющие нуклеотидный состав более чем на 80% сходный с аналогичным фрагментом гена *Rpi-blb2* и, вероятно, общие с ним места отжига праймеров, могут быть идентифицированы как возможные гомологи гена *Rpi-blb2*, а предложенные праймеры – как дающие ложноположительные результаты в исследованных нами образцах. Такие ампликоны имели длину 958 пн у всех родительских образцов, то есть были короче на 18 нуклеотидов по сравнению с фрагментом гена *Rpi-blb2*. Однако такая разница, очевидно, является трудноразличимой при значительной длине фрагмента. Чтобы верифицировать ПЦР фрагменты, полученные с помощью праймеров *Rpi-blb2*-976 у гибридов F_1 , нами были подобраны две рестриктазы: *HpaII*, имеющая сайт узнавания только в референсной последовательности *Rpi-blb2* (CCGG), и *HindIII*, расщепляющая только предполагаемый гомолог гена, секвенированный в данном исследовании (сайт узнавания AAGCTT) (рис. 6). У гибридов F_1 ампликон оставался интактным после действия фермента *HpaII*, а при действии рестриктазы *HindIII* расщеплялся на два фрагмента длиной 575 пн и 383 пн, характерные для гомолога гена *Rpi-blb2* (см. рис. 6).

Связь устойчивости к возбудителю фитофтороза и наличия маркеров генов *Rpi* у гибридов F_1 картофеля. В популяциях гибридов F_1 выявлены генотипы с различным числом и сочетанием маркеров *Rpi*-генов

(рис. 7). У гибридов популяции 'Magellanes' $\times$ 171-3 обнаружены маркеры генов устойчивости к фитофторе: по одному, два в разных комбинациях, и три маркера генов *Rpi-R1*, *Rpi-R3b*, *Rpi-R8*. У значительной части гибридов, 13-21% генотипов в зависимости от кластера, маркеры *Rpi*-генов не обнаружены (рис. 7а). Распределение гибридов 'Magellanes' $\times$ 171-3 из первого и второго кластеров по частоте маркеров *Rpi*-генов различно. У гибридов, устойчивых к фитофторе, встречаемость маркеров генов *Rpi-R3b* и комбинации маркеров генов *Rpi-R3b* + *Rpi-R8* больше, чем у неустойчивых гибридов (см. рис. 7а). Однако в целом различия между гибридами 'Magellanes' $\times$ 171-3 из первого и второго кластеров по частоте маркеров *Rpi*-генов не существенны: F-критерий=0,63 при $p=0,43$.

У гибридов 16/27-09 $\times$ 8-1-2004 также обнаружено от одного до двух, в разных комбинациях, и по три маркера генов *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-blb1*. Распределения гибридов из первого и второго кластеров по частоте маркеров *Rpi*-генов также различны (рис. 7б). У гибридов устойчивых к фитофторе встречаемость маркеров генов *Rpi-R8*, сочетаний *Rpi-R1* + *Rpi-blb1* и *Rpi-R1* + *Rpi-R8* + *Rpi-blb1* больше, чем у неустойчивых гибридов (см. рис. 7б). Существенность различий между гибридами 16/27-09 $\times$ 8-1-2004 из первого и второго кластеров по частоте маркеров *Rpi*-генов подтверждено с помощью F-критерия: $F=4,18$ при $p=0,04$.

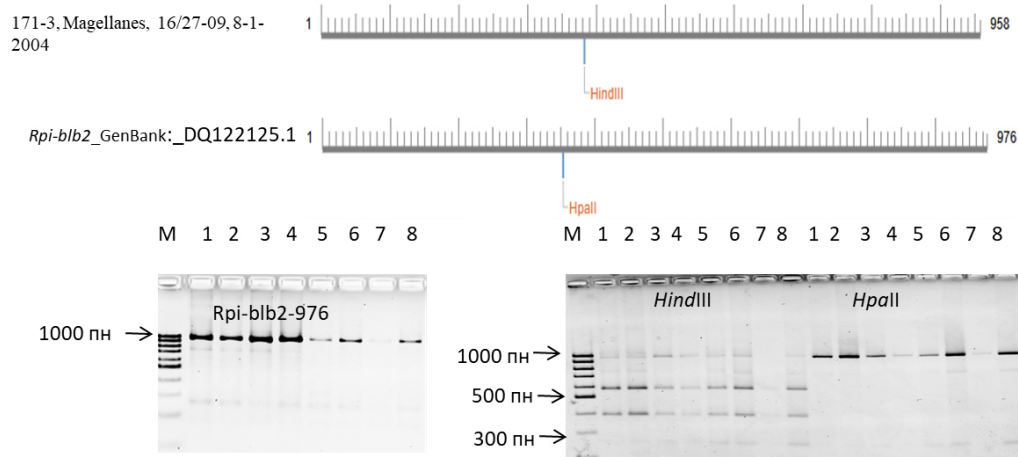


Рис. 6. Идентификация гомолога *Rpi-blb2* у гибридов F_1 с помощью рестриктаз *HindIII* и *HpaII*
1-8 – гибриды F_1 , М – маркер молекулярного веса

Fig. 6. Identification of the *Rpi-blb2* homolog in F_1 hybrids using *HindIII* and *HpaII* restriction enzymes
1-8 – F_1 hybrids, M – molecular weight marker

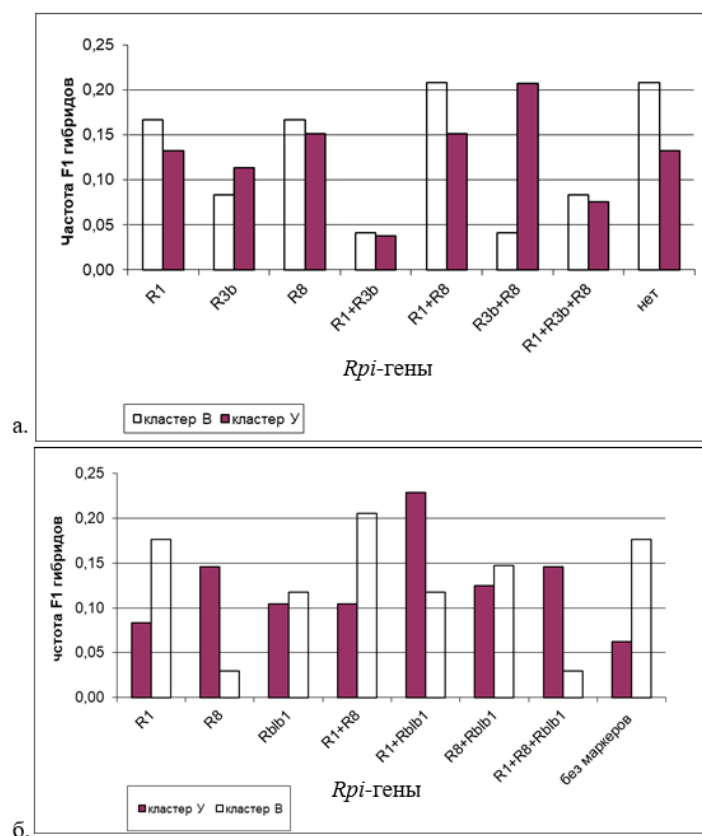


Рис. 7. Частота маркеров *Rpi*-генов у гибридов F_1 из разных кластеров по устойчивости к фитофторе:
а) 'Magellanes' × 171-3, б) 16/27-09 × 8-1-2004
У – устойчивый, В – восприимчивый

Fig. 7. Frequencies of markers for *Rpi* genes in F_1 hybrids from the clusters differing in late blight resistance:
а) 'Magellanes' × 171-3, б) 16/27-09 × 8-1-2004
У – resistant, В – susceptible

При сопоставлении данных фитопатологического и молекулярного анализов популяции 16/27-09 × 8-1-2004 выявлена связь между устойчивостью гибридов F_1 к фитофторе и наличием у них одновременно двух маркеров генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* (табл. 5, рис. 8). Связь между устойчивостью гибридов F_1 к фитофторе и наличием маркеров одного из генов (*Rpi-R8* или *Rpi-blb1*) слабая,

коэффициент ассоциации $r=0,10$ и $r=0,19$ соответственно. Связь между устойчивостью гибридов F_1 к фитофторе и наличием у них обоих маркеров генов *Rpi-R8*, *Rpi-blb1* и их комбинации средняя, статистически достоверная: коэффициент ассоциации $r=0,24$, критерий существенности $t_r=2,18 > t_{05}=1,96$.

Таблица 5. Соответствие результатов маркерного и фитопатологического анализов гибридов F_1 16/27-09 × 8-1-2004

Table 5. Correspondence between the results of marker and phytopathological analyses of F_1 hybrids 16/27-09 × 8-1-2004

Маркеры <i>Rpi</i> -генов/ Markers for <i>Rpi</i> genes	Фенотип/ Phenotype		r	Совпадение (%) / Coincidence (%)
	Устойчивый/ Resistant	Восприимчивый/ Susceptible		
Rpi-R1(+)	27	18	0,03	52,4
Rpi-R1(-)	21	16		
Rpi-R8(+)	25	14	0,10	54,8
Rpi-R8(-)	23	20		
Rpi-blb1(+)	29	14	0,19	59,7
Rpi-blb1(-)	19	20		
Rpi-R8 + 1 Rpi-blb1(+)	41	22	0,24	64,6
Rpi-R8 + Rpi-blb1(-)	7	12		

Примечание. (+) и (-) фенотипы, контрастные по молекулярно-генетическим показателям



а.



б.

Рис. 8. Контрастные по устойчивости к фитофторе гибриды F_1 16/27-09 × 8-1-2004 с разным числом маркеров *Rpi*-генов

а) генотип к-47 (R1 + Rblb1 + Rblb2 + R8), б) генотип к-61 (R1)

Дата учета: 7 Августа 2023

Fig. 8. F_1 hybrids 16/27-09 × 8-1-2004 contrasting by late blight resistance and by markers for *Rpi* genes

а) genotype k-47 (R1 + Rblb1 + Rblb2 + R8), б) genotype k-61 (R1)

Observation date: 7 August 2023

Диагностическая эффективность ДНК-маркеров, которая выражается процентным отношением истинных (и положительных, и отрицательных) результатов теста к общему числу полученных результатов (Totsky et al., 2021), для маркеров генов *Rpi-R1*, *Rpi-R8*, *Rpi-blb1* в популяции 16/27-09 × 8-1-2004 составляет 52,4%, 54,8% и 59,7% соответственно. При использовании маркеров двух генов (*Rpi-R8* и *Rpi-blb1*) диагностическая эффективность возрастает до 64,6% (см. табл. 5). Диагностическая ценность, которая выражается процентным отношением устойчивых образцов, выявленных в популяции 16/27-09 × 8-1-2004 с помощью двух маркеров генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1*, к общему числу устойчивых образцов, составляет 85,4%. Полученные данные доказывают целесообразность использования маркеров двух генов: *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* для отбора устойчивых к фитофторе форм среди гибридов 16/27-09 × 8-1-2004.

Обсуждение

Устойчивая к фитофторе материнская форма комбинации 16/27-09 × 8-1-2004 является сложным многовидовым гибридом, в родословной которого есть дикие виды картофеля *S. demissum*, *S. stoloniferum*, *S. polytrichon*, *S. berthaultii*, *S. simplicifolium*, *S. vernei* Bitter & Wittm. и окультуренные виды *S. andigenum*, *S. chilotanum*, *S. phureja* (Rogozina et al., 2021). Гены *Rpi-R1* и *Rpi-R8* в генотипе 16/27-09, очевидно, унаследованы от *S. demissum*. Ортологом гена *Rpi-blb1*, идентифицированного у диплоидного вида *S. bulbocastanum*, является ген *Rpi-stol* тетраплоидного вида *S. stoloniferum*, от которого ген привнесен в генотип 16/27-09. Устойчивая к фитофторозу отцовская форма комбинации ‘Magelanes’ × 171-3 является трехвидовым гибридом, в родословной которого присутствуют виды *S. demissum*, *S. stoloniferum* и *S. andigenum* (Rogozina et al., 2021). Гены *Rpi-R3b* и *Rpi-R8* могут быть унаследованы генотипом 171-3 от *S. demissum*. Интересно, что оба клона – 16/27-09 и 171-3 – были созданы в процессе предселекции на устойчивость к фитофторозу и выделены в потомстве генетически разнообразных родителей, использованных для накапливающих скрещиваний типа: среднеустойчивый × устойчивый. В родословных всех родительских форм был вид *S. demissum*, однако, несмотря на интенсивный отбор в потомстве на устойчивость к фитофторозу, оба отселектированных клона – 16/27-09 и 171-3 – являются симплексами по *Rpi*-генам.

Встречаемость фрагмента *Rpi-blb2*-976, напротив, чрезвычайно высока. Продукт амплификации обнаружен нами при ПЦР-анализе у всех сортов и клонов-родительских форм. Анализ расщепления в популяциях гибридов F_1 указывает на то, что в каждой комбинации скрещивания одна из родительских форм является дуплексом или триплексом по фрагменту *Rpi-blb2*-976. Ранее фрагмент *Rpi-blb2*-976 был обнаружен с высокой частотой у представителей диких видов картофеля из севе-

ро- и южноамериканских серий (Muratova et al., 2020; Rogozina et al., 2023; Enciso-Maldonado et al., 2024). Степень отличия продуктов амплификации от нуклеотидной последовательности гена-прототипа зависела от филогенетической близости видов: ампликоны у североамериканского картофеля *S. cardiophyllum* Lindl. отличались от гена прототипа *S. bulbocastanum* несколькими инсерциями (Rogozina et al., 2023), ампликоны у южноамериканского вида *S. alandiae* – несколькими делециями и SNP (Muratova et al., 2020). Ген *Rpi-blb2* имеет общее эволюционное происхождение с геном *Mi-1.2*, который обеспечивает устойчивость дикого томата *S. peruvianum* к корневым нематодам, тле и белокрылке (Andolfo et al., 2021). Наши результаты указывают на нецелесообразность использования при скрининге гибридных генотипов картофеля праймеров, предложенных для идентификации гена *Rpi-blb2* у диплоидного мексиканского вида картофеля *S. bulbocastanum*.

Устойчивость к возбудителю фитофтороза является одной из важнейших характеристик современного сорта картофеля. Этот признак представляет собой особую сложность для селекционеров, поскольку проявляется в результате взаимодействия генотипа растений с патогеном *P. infestans* в определённых условиях среды (Srivastava et al., 2012; Rogozina et al., 2018; Gopa, 2023). Высокая адаптивная способность возбудителя фитофтороза является причиной потери сортами картофеля устойчивости к заболеванию с течением времени. Так, оценка обширной выборки сортов картофеля (более 600 образцов) в коллекции ВИР на устойчивость к возбудителю фитофтороза в полевых опытах 2020-2023 годов выявила снижение уровня устойчивости многих сортов. Часть образцов с умеренной чувствительностью сместилась в группу чувствительных, в том числе сорт ‘Сударыня’, проявлявший ранее высокую устойчивость (7-8 баллов) к болезни. В 2021-2022 годах поражение ботвы сорта ‘Сударыня’ составляло 4-6 баллов, в 2023 году – 1-4 балла (Zoteyeva et al., 2024).

Появление совместимых изолятов возбудителя *P. infestans*, то есть изменения в структуре популяции возбудителя фитофтороза, является причиной утраты многими сортами признака устойчивости к болезни. Популяция возбудителя фитофтороза, поражающего картофель в опытном поле НПБ «Пушкинские лаборатории ВИР», отличается высоким полиморфизмом, что может быть связано с генетическим разнообразием образцов коллекции картофеля (сортов и видов *Solanum*) и сохранением инфекции в почве в виде ооспор (Chizhik et al., 2024). Изменения в структуре популяции возбудителя могут происходить под влиянием миграции новых клонов, сортосмены, применения фунгицидов и погодных условий (Elansky et al., 2015).

У сорта ‘Сударыня’ выявлено наличие маркеров гена *Rpi-blb1* (Antonova et al., 2018), а при транскриптомном анализе установлена функциональность гена *Rpi-blb1* (Kochetov et al., 2021). Быстрая потеря устойчивости

к фитофторозу у сорта ‘Сударыня’ подтверждает необходимость наличия пирамиды генов в одном генотипе картофеля для обеспечения долговременной защиты от заболевания. Созданные на основе коллекции ВИР клоны межвидовых гибридов, у которых идентифицировано в одном генотипе по несколько маркеров *Rpi*-генов, являются перспективным исходным материалом для селекции. Клон 16/27-09 представляет собой особую ценность, поскольку при его скрещивании с формой неустойчивой к фитофторе более половины потомства наследует признак фитофтороустойчивости. В генотипе 16/27-09 комбинация генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* является уникальной для отечественного селекционного материала. Скрининг сортов и селекционных клонов картофеля из разных учреждений обнаружил редкую встречаемость генотипов с маркерами гена *Rpi-blb1/Rpi-sto1* и не выявил генотипов с маркером гена *Rpi-R8* (Gavrilenko et al., 2018; Shanina et al., 2018; Gadjiyev et al., 2020; Zoteyeva et al., 2022; Koroleva et al., 2024). При скрещивании клона 171-3 со среднеустойчивым к фитофторе сортом чилийского картофеля ‘Magelanes’ также более половины потомства наследуют устойчивость к возбудителю фитофтороза. Однако нам не удалось найти связь между фитофтороустойчивостью гибридов F_1 и наличием маркерных фрагментов генов *Rpi-R1*, *Rpi-R3b* и *Rpi-R8*, что позволяет предположить участие других генов (или аллельных вариантов) в обеспечении устойчивости родительских форм и гибридов ‘Magelanes’ × 171-3 к фитофторе. Полученные нами экспериментальные данные могут служить основой для совершенствования технологии классической селекции картофеля и разработке более точных (эффективных для отбора) ДНК-маркеров.

Заключение

Для выяснения эффективности использования маркеров ДНК в селекции картофеля на устойчивость к фитофторе, сорта, клоны межвидовых гибридов-источники признака фитофтороустойчивости и гибриды F_1 от двух разных типов скрещивания генотипированы с помощью SCAR-маркеров *Rpi*-генов. Результаты генотипирования по маркерам генов *Rpi-R1*, *Rpi-R3b*, *Rpi-blb1*, *Rpi-R8* сопоставлены с устойчивостью сортов и селекционного материала к возбудителю фитофтороза. Впервые проведены сопряженный молекулярно-генетический анализ и фенотипическая оценка двух популяций гибридов F_1 , полученных от разных типов скрещивания, по реакции родительских форм на возбудителя фитофтороза (среднеустойчивый × устойчивый и устойчивый × восприимчивый). Установлена эффективность использования маркеров генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* для отбора устойчивых к фитофторе сегрегантов среди гибридов F_1 16/27-09 × 8-1-2004 (тип скрещивания: устойчивый × восприимчивый). Диагностическая ценность двух маркеров генов *Rpi-R8* и *Rpi-blb1* при отборе в популяции 16/27-09 × 8-1-2004 составляет 85,4%.

References/Литература

- Andolfo G., D’Agostino N., Frusciante L., Ercolano M.R. The tomato interspecific NB-LRR gene arsenal and its impact on breeding strategies. *Genes*. 2021;12(2):184. DOI: 10.3390/genes12020184
- Angmo D., Sharma S.P., Kalia A. Breeding strategies for late blight resistance in potato crop: recent developments. *Molecular Biology Reports*. 2023;50:7879-7891. DOI: 10.1007/s11033-023-08577-0
- Antonova O.Y., Klimenko N.S., Evdokimova Z.Z., Kostina L.I., Gavrilenko T.A. Finding RB/Rpi-blb1/Rpi-sto1-like sequences in conventionally bred potato varieties. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018;22(6):693-702. DOI: 10.18699/VJ18.412
- Beketova M.P., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M., Gurina A.A., Kuznetsova M.A., Armstrong M., Hein I., Drobyazina P.E., Khavkin E.E., Rogozina E.V. Combination breeding and marker-assisted selection to develop late blight resistant potato cultivars. *Agronomy*. 2021;11:2192. DOI: 10.20944/preprints202110.0209.v1
- Berindean I.V., Taoutaou A., Rida S., Ona A.D., Stefan M.F., Costin A., Racz I., Muntean L. Modern breeding strategies and tools for durable late blight resistance in potato. *Plants*. 2024;13:1711. DOI: 10.3390/plants13121711
- Blossei J., Gaebele R., Hammann T., Uptmoor R. Late blight resistance in wild potato species—Resources for future potato (*Solanum tuberosum*) breeding. *Plant Breeding*. 2022;141(3):314-331. DOI: 10.1111/pbr.13023
- Bradshaw J.E. Potato breeding: Theory and practice. Cham: Springer International Publishing; 2021.
- Chen S.H., Borza T., Byun B., Coffin R., Coffin J., Peters R., Wang-Pruski G. DNA Markers for Selection of Late Blight Resistant Potato Breeding Lines. *American Journal of Plant Sciences*. 2017;8:1197-1209. DOI: 10.4236/ajps.2017.86079
- Chizhik V., Kuznetsova M., Rogozina E., Martynov V. Polymorphism of *Avr* Genes in Russian Populations of *Phytophthora infestans*. *Journal of Phytopathology* 2024;172:e13400. DOI: 10.1111/jph.13400
- Elansky S.N., Pobedinskaya M.A., Kokaeva L.Y., Statsyuk N.V., Dyakov Yu.T. *Phytophthora infestans* populations from the European part of Russia: genotypic structure and metalaxyl resistance. *Journal of Plant Pathology*. 2015;97(8):439-447. DOI: 10.4454/JPP.V97I3.020
- Enciso-Maldonado G., Lozoya-Saldaña H., Talavera-Stefani L., Burgos-Cantoni C., Mongelos-Franco Y., Diaz-Garcia G. Detection of homologous resistance genes to the late blight in wild potatoes. *Bonplandia*. 2024;33(2):271-276. DOI: 10.30972/bon.3326434
- Gadjiyev N.M., Lebedeva V.A., Rybakov D.A., Ivanov A.V., Zheltova V.V., Fomina N.A., Antonova O.Yu., Gavrilenko T.A. On using data from marker-assisted selection of source material and intervarietal hybrids in practical potato breeding. *Agricultural Biology*. 2020;55(5):981-994. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.5.981eng
- Gavrilenko T.A., Antonova O.Yu., Shuvalova A.R., Krylova E.A., Alpatyeva N.V., Spooner D.M., Novikova L.Yu. 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/s10722013-9968-1
- Gavrilenko T.A., Klimenko N.S., Antonova O.Yu., Lebedeva V.A., Evdokimova Z.Z., Gadjiyev N.M., Apalikova O.V., Alpatyeva N.V., Kostina L.I., Zoteyeva N.M., Mamadbokirova F.T., Egorova K.V. Molecular screening of potato varieties bred in the northwestern zone of the Russian Federation. *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., Мамадбокирова 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
- GenBank. BLAST: Basic Local Alignment Search Tool. Available from: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/> [accessed Sep. 24, 2024]

- Gopa I J. Status and way-forward in breeding potato (*Solanum tuberosum*) for resistance to late blight. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2023;93(1):3-10. DOI: 10.56093/ijas.v93i1.119721
- Gurina A.A., Gancheva M.S., Alpatieva N.V., Rogozina E.V. *In silico* search for and analysis of R gene variation in primitive cultivated potato species. *Vavilovskii Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(2):175-184. DOI: 10.18699/vjgb-24-21
- Haesaert G., Vossen J.H., Custers R., De Loose M., Haverkort A., Heremans B., Hutten R., Kessel G., Landschoot S., Van Droogenbroeck B., Visser R.G.F., Gheysen G. Transformation of the potato variety Desiree with single or multiple resistance genes increases resistance to late blight under field conditions. *Crop Protection*. 2015;77:163-175. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.07.018
- Hall T.A. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*. 1999;41:95-98.
- Ivanov A.I., Ivanova Zh.A., Yakusheva O.I., Filippov P.A. Potato responsiveness to fertilizers and crop losses from late blight in the North-West of Russia. *Potato and vegetables*. 2019;8:23-26. [in Russian] (Иванов А.И., Иванова Ж.А., Якушева О.И., Филиппов П.А. Отзывчивость картофеля на удобрение и потери урожая от фитофтороза в условиях Северо-Запада России. *Картофель и овощи*. 2019;8:23-26). DOI: 10.25630/PAV.2019.49.66.001
- Islam S., Li J., Rahman M.A., Xie F., Song B., Nie B. Resistance to biotic and abiotic stress in potato: the origin of the genes and corresponding molecular markers. *Phytopathology Research*. 2024;6(4). DOI: 10.1186/s42483-023-00222-9
- Kiru S.D., Kostina L.I., Truskinov E.V., Zoteyeva N.M., Rogozina E.V., Koroleva L.V., Fomina V.E., Palekha S.V., Kosareva O.S., Kirilov D.A. (comp.). Guidelines for the maintenance and study of the world potato collection (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoy kollektsii kartofelya). S.D. Kiru (ed.). St. Petersburg: VIR; 2010. [in Russian] (Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля / сост.: С.Д. Киру, Л.И. Костина, Э.В. Трускинов, Н.М. Зотеева, Е.В. Рогозина, Л.В. Королева, В.Е. Фомина, С.В. Палеха, О.С. Косарева, Д.А. Кирилов; под ред. С.Д. Киру. Санкт-Петербург: ВИР. 2010).
- Khavkin E.E. Plant-pathogen molecular dialogue: evolution, mechanisms and agricultural implementation. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2021;68:197-211. DOI: 10.1134/S1021443721020072
- Kochetov A.V., Afonnikov D.A., Shmakov N., Vasiliev G.V., Antonova O.Y., Shatskaya N.V., Glagoleva A.Y., Ibragimova S.M., Khiutti A., Afanasenko O.S., Gavrilenko T.A. NLR genes related transcript sets in potato cultivars bearing genetic material of wild Mexican *Solanum* species. *Agronomy*. 2021;11:2426. DOI: 10.3390/agronomy11122426
- Koroleva A.K., Derevyagina M.K., Biryukova V.A., Polivanova O.B., Kazakov O.G. Resistance assessment of promising colored potato hybrids to late blight. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(03):319-337. [in Russian] (Королева А.К., Деревягина М.К., Бирюкова В.А., Поливанова О.Б., Казаков О.Г. Оценка устойчивости перспективных гибридов цветного картофеля к фитофторозу // *Аграрный вестник Урала*. 2024;24(03):319-337). DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-319-337
- Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis Version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*. 2016;33(7):1870-1874. DOI: 10.1093/molbev/msw054
- Muratova O.A., Beketova M.P., Kuznetsova M.A., Rogozina E.V., Khavkin E.E. South American species *Solanum alandiae* Card. and *S. okadae* Hawkes et Hjerting as potential sources of genes for potato late blight resistance. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):73-83. [in Russian] (Муратова О.А., Бекетова М.П., Кузнецова М.А., Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Южноамериканские виды *Solanum alandiae* Card. и *S. okadae* Hawkes et Hjerting как потенциальные источники генов устойчивости к фитофторозу картофеля. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):73-83). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-73-83
- Paluchowska P., Sliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022;255:127. DOI: 10.1007/s00425-022-03910-6
- Rietman H., Bijsterbosch G., Cano L.M., Lee H.-R., Vossen J.H., Jacobsen E., Visser R.G.F., Kamoun S., Vleeshouwers V.G.A.A. Qualitative and quantitative late blight resistance in the potato cultivar Sarpo Mira is determined by the perception of five distinct RXLR effectors. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012;25:910-919. DOI: 10.1094/mpmi-01-12-0010-r
- Rogozina E.V., Khavkin E.E. Interspecific potato hybrids as donors of durable resistance to pathogens. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(1):30-41. [in Russian] (Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Межвидовые гибриды картофеля как доноры долговременной устойчивости к патогенам. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):30-41). DOI: 10.18699/VJ17.221
- Rogozina E.V., Beketova M.P., Muratova O.A., Kuznetsova M.A., Khavkin E.E. Stacking resistance genes in multiparental interspecific potato hybrids to anticipate late blight outbreaks. *Agronomy*. 2021;11:1-31. DOI: 10.3390/agronomy11010115
- Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kuznetsova M.A., Demidova V.N., Rogozin A.N., Smetanina T.I., Beketova M.P., Fadina O.A., Khavkin E.E. Late blight resistant potato hybrid clones in the VIR collection of plant genetic resources. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(3):278-292. [in Russian] (Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Кузнецова М.А., Демидова В.Н., Рогожин А.Н., Сметанина Т.И., Бекетова М.П., Факина О.А., Хавкин Э.Е. Устойчивые к фитофторозу гибридные клоны картофеля в коллекции генетических ресурсов растений ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(3):278-292). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-278-292
- Rogozina E.V., Gurina A.A., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M., Kuznetsova M.A., Beketova M.P., Muratova O.A., Sokolova E.A., Drobayazina P.E., Khavkin E.E. Diversity of late blight resistance genes in the VIR potato collection. *Plants*. 2023;12(2):273. DOI: 10.3390/plants12020273
- Rodewald J., Trognitz B. *Solanum* resistance genes against *Phytophthora infestans* and their corresponding avirulence genes. *Molecular Plant Pathology* 2013;14(7):740-757. DOI: 10.1111/mpp.12036
- Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P., McRoberts N., Nelson A. The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology and Evolution*. 2019;3(3):430-439. DOI: 10.1038/s41559-018-0793-y
- Shanina E.P., Sergeeva L.B., Stafeyeva M.A. Klyukina E.M. Use of DNA markers to examine the source breeding material of potato. *Achievements of science and technology of AIC*. 2018;32(12):47-49. [in Russian] (Шанина Е.П., Сергеева Л.Б., Стафеева М.А., Клюкина Е.М. Применение ДНК-маркеров для оценки исходного селекционного материала картофеля. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(12):47-49). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11213
- Simakov E.A., Anisimov B.V., Zhevora V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Mityushkin A.V., Gajzatulin A.S. Current trends and the development of potato breeding and seed production in Russia. *Potato and vegetables*. 2020;12:22-26. [in Russian] (Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Жевора В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Митюшкин А.В., Гайзатулин А.С. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России. *Картофель и овощи*. 2020;12:22-26). DOI: 10.25630/PAV.2020.49.70.005
- Simakov E.A., Zharova V.A., Mityushkin A.V., Biryukova V.A., Rogozina E.V., Kiru S.D. The use of genetic resources to increase the efficiency of potato breeding. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2017;178(2):113-121. [in Russian] (Симаков Е.А., Жарова В.А., Митюшкин А.В., Бирюкова В.А., Рогозина Е.В., Киру С.Д. Использование генетических ресурсов картофеля для повышения эффективности селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017;178(2):113-121). DOI: 10.30901/2227-8834-2017-2-113-121
- Sokolova E.A., Pankin A.A., Beketova M.P., Kuznetsova M.A., Spiglazova S.Yu., Rogozina E.V., Yashina I.M., Khavkin E.E.

- SCAR markers of the *R*-genes and germplasm of wild *Solanum* species for breeding late blight-resistant potato cultivars. *Plant genetic resources*. 2011;9:309-312. [in Russian] (Соколова Е.А., Панкин А.А., Бекетова М.П. SCAR-маркеры *R*-генов и зародышевой плазмы дикорастущих видов *Solanum* для выведения устойчивых к фитофторозу сортов картофеля. *Генетические ресурсы растений*. 2011;9:309-312). DOI: 10.1017/s1479262111000347
- Srivastava A.K., Kumar V., Joseph T.A., Sharma S., Bag T.K., Singh B.P. Screening potato germplasm for stable resistance against late blight (*Phytophthora infestans*). *Potato Journal*. 2012;39(2):177-184.
- StatSoft Russia. Available from: <http://statsoft.ru> [accessed Sep. 24, 2024]
- Totsky I.V., Rozanova I.V., Safonova A.D., Batov A.S., Gureeva Yu.A., Khlestkina E.K., Kochetov A.V. Genotyping of potato samples from the GenAgro ICG SB RAS collection using DNA markers of genes conferring resistance to phytopathogens. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(6):677-686. DOI: 10.18699/VJ21.077
- van der Vossen E.A.G., Gros J., Sikkema A., Muskens M., Wouters D., Wolters P., Pereira A., Allefs S. The *Rpi-blb2* gene from *Solanum bulbocastanum* is an *Mi-1* gene homolog conferring broad-spectrum late blight resistance in potato. *Plant Journal*. 2005;44:208-222. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02527.x
- Vossen J.H., van Arkel G., Bergervoet M., Jo K.-R., Jacobsen E., Visser R.G.F. The *Solanum demissum* *R8* late blight resistance gene is an *Sw-5* homologue that has been deployed worldwide in late blight resistant varieties. *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129:1785-1796. DOI: 10.1007/s00122-016-2740-0
- Wang M., Allefs S., van den Berg R.G., Vleeshouwers V., van der Vossen E.A.G., Vosman B., Allele mining in *Solanum stoloniferum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116:933-943. DOI: 10.1007/s00122-008-0725-3
- Zoteeva N.M., Antonova O.Yu., Klimenko N.S., Gavrilenko T.A. Markers of genes for resistance to late blight, potato virus *Y* and potato cyst nematode identified in advanced interspecific potato hybrids. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(1):5-16. [in Russian] (Зотеева Н.М., Антонова О.Ю., Клименко Н.С., Гавриленко Т.А. Маркеры генов устойчивости к фитофторозу, *Y* вирусу картофеля и золотистой картофельной нематоде у перспективных клонов межвидовых гибридов картофеля. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(1):5-16). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-1-01
- Zoteeva N.M., Kosareva O.S., Rogozina E.V., Chalaya N.A. Resistance of potato cultivars and hybrid clones from the VIR collection to the northwestern population of *Phytophthora infestans*. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(2):201-209. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209
- Yashina I.M., Sklyarova I.P. Genetics of polyploid potato species (Genetika poliploidnykh vidov kartofelya). In: *Potato genetics (Genetika kartofelya)*. Moscow: Nauka; 1973. p.82-103. [in Russian] (Яшина И.М., Склярова И.П. Генетика полиплоидных видов картофеля. В кн.: *Генетика картофеля*. Москва: Наука; 1973. С.82-103).

Информация об авторах

Екатерина Алексеевна Иванова, ведущий специалист, отдел генетических ресурсов картофеля, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, zavarihinakat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0049-8781>

Наталья Владимировна Алпатьева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел генетики, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, alpatievanatalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5531-2728>

Елена Вячеславовна Рогозина, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, отдел генетических ресурсов картофеля, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

Information about the authors

Ekaterina A. Ivanova, Leading Researcher, Department of Potato Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, zavarihinakat@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-0049-8781>

Natalia V. Alpatieva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Department of Genetics, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, alpatievanatalia@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5531-2728>

Elena V. Rogozina, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Department of Potato Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, rogozinaelena@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

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 13.01.2025; одобрена после рецензирования 05.03.2025; принята к публикации 19.03.2025.

The article was submitted on 13.01.2025; approved after reviewing on 05.03.2025; accepted for publication on 19.03.2025.

Научная статья

УДК 615.322: 66.061.3: 633.854.78

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o2



Определение алломеланинов в лузге подсолнечника весовым методом

В.С. Попов, Д.Л. Корнюхин, Т.В. Шеленга, В.А. Гаврилова, В.И. Хорева

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

Автор, ответственный за переписку: Виталий Сергеевич Попов, popovitaly@yandex.ru

Актуальность. Меланины – группа пигментов со сложной кристаллической структурой и большой молекулярной массой, имеющие широкое применение в современном медицинском, парфюмерном, пищевом, полимерном производстве. Обладают выраженным противовирусным, антибактериальным, антигрибковым, противолучевым действием и антиоксидантной активностью. Различают меланины животного (меланины), микробного (микомеланины) и растительного (фитомеланины) происхождения. В настоящий момент актуальным является поиск новых источников растительных меланинов и простых методов их определения, позволяющих в дальнейшем выявлять образцы с повышенным содержанием этих веществ для различного использования. Важным значением меланина, накапливающегося в плодовой оболочке семян подсолнечника, является его роль в обеспечении устойчивости этой культуры к подсолнечной огневке (*Homoeosoma nebulella* Hb.). Задача исследования – разработка метода определения меланинов и демонстрация его возможностей на примере коллекции подсолнечника ВИР. **Материалы и методы.** В работе представлен модифицированный метод определения алломеланинов (фитомеланинов) в лузге и семенах подсолнечника из коллекции ВИР: отработаны оптимальные режимы экстракции, фильтрования, осаждения и промывания алломеланинов от примесей. **Результаты.** Содержание алломеланинов в лузге подсолнечника в среднем составило 5,7%, при этом минимальное количество – 1,5%, максимальное – 8,7%. Доля этих пигментов в исследуемых семенах подсолнечника находилась в диапазоне 0,4%–2,7% при среднем значении 1,7%. Выделены образцы с повышенным содержанием пигментов в лузге: к-2776, к-3511, к-3892, к-3901, к-641884 и с пониженным – к-3568, к-3647, к-3649, к-3760, к-3762. Между содержанием алломеланинов в лузге и в семенах обнаружена высокая положительная корреляция ($r=0,83$). **Заключение.** Разработан простой метод выделения алломеланинов, который дает хорошо воспроизводимые результаты и может быть использован для скрининга коллекции генетических ресурсов растений, направленного на выявление образцов, характеризующихся высоким содержанием меланина. Метод позволяет выявлять наиболее перспективные образцы для селекции по признаку устойчивости к повреждающему действию гусениц подсолнечной огневки.

Ключевые слова: *Helianthus annuus* L., фитомеланины, лузжистость, пигменты, количественное определение

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM – 2022-0005 «Растительные ресурсы масличных и прядильных культур ВИР как основа теоретических исследований и их практического использования». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Попов В.С., Корнюхин Д.Л., Шеленга Т.В., Гаврилова В.А., Хорева В.И. Определение алломеланинов в лузге подсолнечника весовым методом. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(1):23-32. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o2

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.

© Попов В.С., Корнюхин Д.Л., Шеленга Т.В., Гаврилова В.А., Хорева В.И., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o2

Determination of allomelanins in sunflower husk by the gravimetric method

Vitaliy S. Popov, Dmitry L. Korniyukhin, Tatiana V. Shelenga, Vera A. Gavrilova, Valentina I. Khoreva

¹N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Vitaliy S. Popov, popovitaly@yandex.ru

Background. Melanins are a group of pigments with a complex crystalline structure and high molecular weight, which are widely used in modern medical, perfume, food, and polymer production. They have pronounced antiviral, antibacterial, antifungal, antiradiation effects, and antioxidant activity. Melanins of animal (melanin), microbial (mycomelanin), and plant (phytomelanin) origin are distinguished. At present, the search for new sources of plant melanins and simple methods for their determination is relevant, allowing for the further identification of accessions with a higher content of these substances for various uses. An important role of melanin, which accumulates in the sunflower seed coat, is its role in ensuring the resistance of this crop to the sunflower moth (*Homoeosoma nebulella* Hb.). The present study was aimed at developing a method and demonstrating its capabilities using accessions from the VIR sunflower collection. **Materials and methods.** The paper presents a modified method for determining allomelanins (phytomelanins) in husk and seed of sunflower accessions from the VIR collection. Optimal modes of allomelanin extraction, filtration, precipitation and washing from impurities have been developed. **Results.** The allomelanin content in sunflower husk averaged 5.7% with a minimum of 1.5% and a maximum of 8.7%. The fraction of pigment in the studied sunflower seeds ranged from 0.4% to 2.7% and averaged 1.7%. The accessions with a higher pigment content in husk are k-2776, k-3511, k-3892, k-3901, and k-641884, and those with a lower pigment content are k-3568, k-3647, k-3649, k-3760, and k-3762. A high positive correlation was found between the allomelanin content in husk and seed ($r=0.83$). **Conclusion.** A simple method for isolating allomelanins has been developed. It yields highly reproducible results and can be used to screen a collection of plant genetic resources to identify accessions with high melanin content. This method allows the identification of the most promising accessions which can be involved in breeding for resistance to the damaging effects of sunflower moth caterpillars.

Keywords: *Helianthus annuus* L., phytomelanins, huskness, pigments, quantitative determination

Acknowledgements: The research was performed within the framework of the State Assignment according to the theme plan of VIR, Project № FGEM – 2022-0005 «Plant resources of oil and fiber crops at VIR as the basis of theoretical research and their practical utilization».

For citation: Popov V.S., Korniyukhin D.L., Shelenga T.V., Gavrilova V.A., Khoreva V.I. Determination of allomelanins in sunflower husk by the gravimetric method. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(1):23-32. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o2

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

© Popov V.S., Korniyukhin D.L., Shelenga T.V., Gavrilova V.A., Khoreva V.I., 2025

Введение

Меланины (от греческого *melanos* – черный) – высокомолекулярные пигменты от темно-коричневого до черного цвета – широко распространены среди живых организмов и различаются как вещества животного (меланины), микробного (микомеланины) и растительного (фитомеланины) происхождения (Liakh et al., 2007).

Желто-коричневые разновидности пигментов животных обычно называют феомеланинами, а черные известны под названием эумеланины. Имеющие некоторое сходство с ними безазотистые черные пигменты растений часто называют алломеланинами. Они обуславливают цвет семян, зерновок, кожицы фруктов и овощей, защищают растение от негативного действия ультрафиолета, придают им механическую прочность (Rogers, Kreitner, 1983; Duran, Retamal, 1989; Baraboi, 2001; Prutenskaia et al., 2016).

Полимерная фактура меланина и его структурная формула окончательно не установлены, хотя экспериментальные исследования по изучению природы меланина проводятся с 60-х годов 20 века (Solano, 2014; Vorontsova et al., 2016). Известно, что синтезируются меланины из фенольных предшественников, которые окисляются под действием полифенолоксидазы в хинон, который, в свою очередь, полимеризуется в меланины. Также предшественниками темноокрашенных веществ могут быть такие фенолсодержащие соединения, как тирозин и хлорогеновая кислота (Gerdemann et al., 2002).

Все меланиновые пигменты являются длинноцепочечными полимерами со сложной кристаллической структурой и большой молекулярной массой, проявляющими высокую биологическую активность (Liakh et al., 2007). Хорошо известно ингибирующее действие меланинов на процесс перекисного окисления липидов, вызванное различными прооксидантами. Также выявлена противовирусная, антибактериальная, антигрибковая, антиоксидантная активность меланинов и их способность нейтрализовать токсическое действие металлов (Hill, 1992; Alekseeva et al., 2001; Gashnikova et al., 2014; Chu et al., 2016). В реализации противолучевого действия меланина важную роль, вероятно, играет его выраженная антиоксидантная активность, связанная со структурными особенностями (Novikov et al., 2001).

Меланины могут быть использованы в качестве пищевого красителя. Сырьем для его изготовления чаще всего становится лузга гречихи (Alekseeva et al., 2008; Shkolnikova, Kadritskaya, 2020). Рассмотрена возможность получения биоактивных полимерных пленок для производства пищевой упаковки и медицинских целей на основе меланинов семян арбуза (Łopusiewicz et al., 2020).

Однако, несмотря на полифункциональность, применение меланинов ограничивается сложностью их выделения из биологических объектов, очистки от белковых и химических примесей, а также высокой стоимостью получения синтетических аналогов. В каче-

стве перспективного источника алломеланинов выступает растительное темноокрашенное сырье: а) отходы растительного происхождения – лузга подсолнечника, гречихи, черного риса, выжимки винограда и свеклы, ячменя и овса; б) растительное сырьё – грецкий орех, семена арбуза, кунжута, (Gracheva, Zheltobriukhov, 2016; Varga et al., 2016; Łopusiewicz et al., 2020; Shoeva et al., 2020).

Наиболее перспективным для получения меланинов представляется использование вторичных сырьевых ресурсов, в том числе лузги подсолнечника, что обусловлено ежегодными значительными объемами этого сырья, его низкой ценой (от 0 до 2500 р/т), высокой биологической активностью и рядом фармакологических свойств (Iuasifov, 1987; Gracheva, Zheltobriukhov, 2016). Содержание алломеланинов в цельных семенах подсолнечника составляет примерно 1,4% (Jana, Mukherjee, 2004; Park et al., 2007).

Существует несколько способов выделения и определения меланинов, в том числе экспресс-методы, которые являются весьма неточными и субъективными (Perestova, 1988). Стандартный протокол включает их щелочную экстракцию и последующее осаждение в кислой среде (Sava et al., 2001). Диффузия меланина через клеточные стенки слабо выражена. Для полноты извлечения пигмента из растительного сырья нужно стремиться к максимально возможному измельчению материала, чтобы нарушить целостность большинства клеток, что способствует оптимальному выходу меланинов. В щелочной среде они обладают наибольшей растворимостью, то есть с увеличением pH среды увеличивается степень их диссоциации (Grossi et al., 1998).

Для идентификации и количественного определения меланинов применяется метод спектроскопии. Меланины различного происхождения характеризуются высокой поглотительной способностью в видимом и ультрафиолетовом диапазоне спектра с максимумом при 196-300 нм (Pralea et al., 2019). Для идентификации основных функциональных групп в макромолекулах меланина используется инфракрасная (ИК) спектроскопия с преобразованием Фурье (Shoeva et al., 2020).

При анализе спектра меланина лузги подсолнечника обнаружено, что в состав соединений входят конденсированные бензольные кольца (1500 см^{-1}), фенольные структуры и карбонильные группы ($1600\text{--}1700\text{ см}^{-1}$), тройные связи между атомами углерода $\text{C}\equiv\text{C}$ (2300 см^{-1}), алифатические углеродные фрагменты (2900 см^{-1}) (Pralea et al., 2019).

Ядерный магнитно-резонансный (ЯМР) анализ подтверждает наличие в меланинах ароматических, метильных или метиленовых групп. Меланины являются парамагнитными биополимерами, которые из-за наличия стабильных свободных радикалов могут быть обнаружены с помощью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) (Butterfield, 1982). Обобщенные результаты исследований и анализ данных литературы позволяют отнести меланины лузги подсолнечника к алломеланинам, моле-

кулы которых могут быть образованы пирокатехиновыми и/или периленовыми мономерами (Prutenskaia et al., 2016; Kablov et al., 2019).

У подсолнечника меланиновый слой между гиподермой и склеренхимой в плодовой оболочке семян повышает устойчивость к повреждениям гусеницами подсолнечной огнёвки (*Homoeosoma nebulella* Нб.), являясь, таким образом, основой природной устойчивости подсолнечника к этому вредителю. За свою защитную функцию меланиновый слой получил название «панцирный» (Perestova, 1988). Образцы подсолнечника с повышенным содержанием пигментов в лузге являются основой селекции по этому признаку. Из изложенного выше следует, что меланины имеют широкий спектр применения. Поэтому актуальной является оптимизация способа выявления источников их высокого содержания с целью сделать методику доступной и эффективной. Задачей работы являлась разработка весового метода количественного определения алломеланинов в лузге и семенах подсолнечника на основе существующего протокола с использованием образцов коллекции ВИР.

Материалы и методы

Объект исследования – лузга подсолнечника, полученная после очистки семян 30 образцов репродукции Пушкинских опытных лабораторий ВИР 2023 года. В выборку вошли семена с лузгой от светло-серого до почти черного цвета различного происхождения, различной лузжистости и разного размера. Список и характеристика исследо-

ванных образцов приведены в Приложении/ Supplement¹.

Перед проведением анализа лузгу измельчали с помощью лабораторной мельницы LabMill-1 (LaborMim, Венгрия) до состояния мелкодисперсной муки с размером частиц до 10 мкм. Алломеланины экстрагировали на кипящей водяной бане с шейкером (GFL 1092, Германия). Отделение меланинов от примесей осуществляли с помощью центрифуги для больших объемов (SL16R, Thermo FS, Германия). Навески выделенных алломеланинов высушивали при температуре 95-100°C до постоянной массы в сушильном шкафу (Mettler, Германия). Поглощение света выделенными алломеланинами измеряли на спектрофотометре (UNICO-2802S, США) в диапазонах УФ и видимого света (200-700 нм) в кварцевой кювете с рабочей длиной 10 мм.

Определение изученных признаков проводили в двух повторностях, результаты представлены в виде: среднее значение $\pm$ стандартное отклонение (SD). Статистический анализ осуществляли, используя программное обеспечение Microsoft Office 2016.

Результаты и обсуждение

Лузжистость у исследуемых семян подсолнечника находилась в диапазоне от 21,1% (к-3693) до 48,0% (к-3894), в среднем – 29,6%.

Наиболее низкую лузжистость имели образцы к-2776, к-3643, к-3693, к-3761; наибольшую – к-2936, к-3417, к-3513, к-3894 (рис. 1).

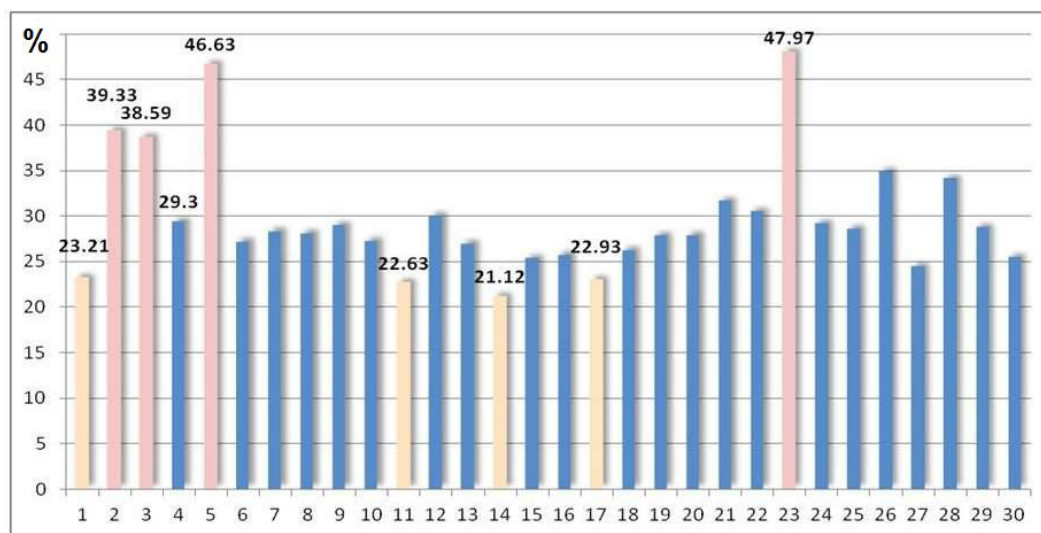


Рис. 1. Лузжистость (ось Y) у исследуемых семян подсолнечника (ось X, см. Приложение)

Fig. 1. Huskiness (Y-Axis) of the studied sunflower seeds (X-Axis, see the Supplement)

¹ Приложение доступно в онлайн версии статьи/ The supplement is available in the online version of the paper: DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-02

Экстракцию и определение алломеланинов проводили согласно методу, предложенному в работе Ивановой и др. (Ivanova et al., 2019) с внесёнными нами модификациями.

Этапы извлечения и определения алломеланинов:

1) К навескам измельченной лузги подсолнечника добавляли одномолярный раствор гидроксида натрия (1:40 m:V) и выдерживали образцы в конических колбах на 150 см³ с обратным холодильником в кипящей водяной бане в течение одного часа, затем отфильтровывали тёмноокрашенный экстракт через стеклянные фильтры №3 в колбы Бунзена, соединённые с водоструйным насосом. Осадок переносили с фильтра таким же объемом щело-

чи и в те же конические колбы, затем вновь кипятили на водяной бане в течение одного часа. После третьей экстракции фильтрат становился прозрачным, то есть практически не содержал алломеланинов. Все три фильтрата после каждой экстракции объединяли в отдельной колбе.

2) Для получения алломеланинов фильтраты подкисляли 20% раствором соляной кислоты до pH 1-1,5, при этом раствор светлел и постепенно наблюдалось образование «творожистого» осадка (рис. 2). Для полноты образования осадка растворы выдерживали в колбах при комнатной температуре не менее двух, но не более 20 часов.



Рис. 2. Щелочной экстракт алломеланинов (слева) и после подкисления (справа)

Fig. 2. Alkaline extract of allomelanins (left) and that after acidification (right)

3) Для отделения осадка, содержащего алломеланины, от фугата, экстракт центрифугировали в течение 10 мин при 8 тыс. об/мин. Для последующих промывок использовали тот же режим центрифугирования. Это позволяет отделить алломеланины от низкомолекулярных и растворимых в кислой среде высокомолекулярных соединений (Fomenko et al., 2021).

4) Очистку осадка, содержащего алломеланины, от примесей осуществляли посредством последовательного промывания его горячей водой, 80% этанолом и ацетоном. Для этого к осадку добавляли нагретую воду, имеющую температуру 50°C (1:120 m:V), перемешивали стеклянной палочкой и центрифугировали. Однократная водная промывка позволяет сохранить кислое состояние раствора с pH<7 и тем самым избежать потерь алломеланинов. Фугат сливали, а осадок последовательно промывали двукратно 80% этанолом (1:80 m:V) и однократно ацетоном (1:80 m:V) с последующим центрифугированием после каждого этапа промывки.

5) Количественное определение алломеланинов осуществляли методом гравиметрии. Для этого осадок алломеланинов переносили из центрифужных пробирок небольшими объемами 80% этанола в предварительно высушенные и взвешенные фарфоровые чашечки и затем содержимое высушивали при температуре не выше 100°C до постоянного веса. Чашки охлаждали в эксикаторе и затем взвешивали (рис. 3).

6) Расчёт содержания алломеланинов в лузге и в цельных семенах, учитывая процент лузжистости, осуществляли по формулам 1 и 2:

$$X_{\text{лузга}} (\%) = \frac{(m_{\text{после}} - m_{\text{до}})}{m} \cdot 100 \quad (1)$$

$$X_{\text{семена}} (\%) = \frac{X_{\text{лузга}} \cdot X_{\text{лузжистость}}}{100} \quad (2)$$

где, $m_{\text{до}}$ – масса навески алломеланинов до высушивания, г;
 $m_{\text{после}}$ – масса навески алломеланинов после высушивания, г;
 $X_{\text{лузга}}$ – содержание алломеланинов в лузге подсолнечника, %;
 $X_{\text{лузжистость}}$ – лузжистость у семян подсолнечника, %;
 m – масса навески лузги, г

Чистый высушенный алломеланин представляет собой тёмный с глянцевым оттенком порошок, нерастворимый в воде и большинстве органических растворителей, частично растворимый в концентрированных серной и азотной кислотах и полностью растворимый в 0,1 М растворе гидроксида натрия. Средний размер частиц меланина лузги подсолнечника является минимальным по сравнению с меланинами другого происхождения и составляет 136,1 нм. Размер частиц микробного меланина – 228,8 нм, меланина чаги – 206,8 нм (Prutenskaia et al., 2016).

Существует несколько качественных реакций с мела-

нинами, которые необходимо использовать для подтверждения природы выделенного в результате экстракции соединения. При воздействии сильных окислителей пигменты теряют цвет в результате окисления гидрохиноновых фрагментов меланинов и дальнейшей деградации полимера меланинов (Korytowski, Sarna, 1990).

Для проведения качественных реакций навеску выделенных алломеланинов предварительно растворяли в 0,1 М гидроксиде натрия (1:200 m:V) (рис. 4а). При

добавлении к раствору с пигментом 10 % перекиси водорода происходит обесцвечивание раствора (рис. 4б). При взаимодействии с раствором хлорида железа образуется коричневый осадок хлопьевидной основной структуры (рис. 4в), а в присутствии перманганата калия растворы меланинов изменяют окраску с красно-коричневой на зелёную в результате восстановления перманганата (рис. 4г).

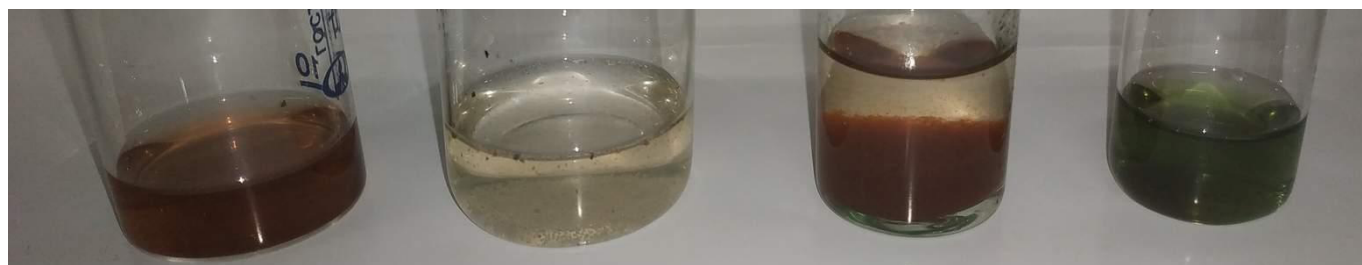


а)

б)

Рис. 3. Спиртовой экстракт алломеланинов до (а) и после высушивания (б)

Fig. 3. Alcohol extract of allomelanins before (a) and after drying (b)



а)

б)

в)

г)

Рис. 4. Качественные реакции на меланины (пояснения в тексте)

Fig. 4. Qualitative reactions to melanins (see text for comments)

Согласно проведенным ранее исследованиям, такое поведение пигментов характерно для меланинов и свидетельствует о присутствии в их структуре хиноидных и фенольных компонентов (Kartushina et al., 2016).

Поглощение выделенными алломеланинами света в диапазонах УФ и видимой части спектра (200-700 нм) представлено на рисунке 5.

В ходе исследования отмечено, что выделенное вещество демонстрирует сильное поглощение света в УФ-области с постепенным уменьшением оптической плотности по мере увеличения длины волны. Максимальный пик поглощения наблюдался при 220 нм в УФ области поглощения. Кроме того, не наблюдалось дополнитель-

ных пиков поглощения при 260 нм и 280 нм, что указывает на отсутствие нуклеиновых кислот, липидов и других белков в пигментах, выделенных из лузги подсолнечника (Saha et al., 2021).

Таким образом, результаты качественных реакций и спектрофотометрии подтверждают, что выделенное вещество является алломеланином высокой степени очистки.

На основе разработанного нами весового метода определения алломеланинов проведено изучение выборки семян подсолнечника из коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова. Результаты по определению содержания пигментов в лузге и семенах представлены в таблице.

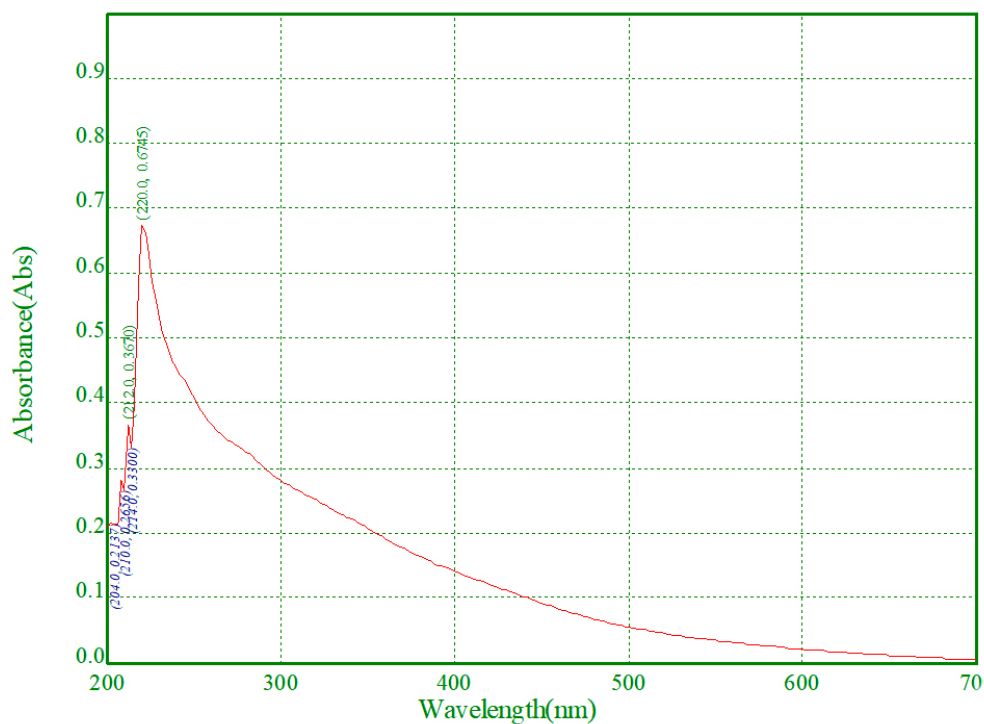


Рис. 5. Спектральные характеристики света, поглощаемого раствором алломеланинов в УФ и видимом диапазоне

Fig. 5. Spectral characteristics of light absorbed by allomelanin solution in the UV and visible ranges

Таблица. Содержание алломеланинов в исследуемых образцах

Table. Allomelanin content in the studied accessions

№/ No.	№ кат. ВИР, к-/ VIR cat. No., k-	Алломеланины/ Allomelanins, %		№/ No.	№ кат. ВИР, к-/ VIR cat. No., k-	Алломеланины/ Allomelanins, %	
		лузга/ husk	семена/ seeds			лузга/ husk	семена/ seeds
1	2776	8,67	2,01	18	3762	3,50	0,92
2	2936	5,67	2,23	19	3775	6,17	1,71
3	3417	4,50	1,74	20	3885	6,33	1,76
4	3511	7,83	2,30	21	3892	8,67	2,74
5	3513	4,83	2,25	22	3893	6,33	1,93
6	3515	4,17	1,13	23	3894	4,50	2,16
7	3554	5,17	1,46	24	3901	8,17	2,38
8	3568	3,50	0,98	25	641880	6,00	1,71
9	3606	6,83	1,97	26	641883	7,50	2,61
10	3639	5,83	1,59	27	641884	8,17	1,99
11	3643	5,00	1,13	28	641885	7,50	2,55
12	3647	3,00	0,90	29	641964	6,83	1,96
13	3649	1,50	0,40	30	641965	6,83	1,73
14	3693	6,00	1,27	Среднее/ Mean		5,73	1,69
15	3713	5,67	1,43	Мин/ Min		1,50	0,40
16	3760	3,50	0,90	Макс/ Max		8,67	2,74
17	3761	3,67	0,84	Стандартное отклонение/ Standard deviation		1,82	0,60

Содержание алломеланинов в лузге подсолнечника составило в среднем 5,73%, при этом минимальное количество – 1,5%, максимальное – 8,7%. В цельных семенах подсолнечника – от 0,4% до 2,7%, в среднем – 1,7%. Образцы с повышенным содержанием этих пигментов в лузге: к-2776, к-3511, к-3892, к-3901, к-641884; с пони-

женным содержанием – к-3568, к-3647, к-3649, к-3760, к-3762 (рис. 6). Между содержанием алломеланинов в лузге и цельных семенах обнаружена высокая положительная корреляция ($r = 0,83$). Полученные нами данные соответствуют результатам других исследователей (Özdemir, Keleş, 2018).

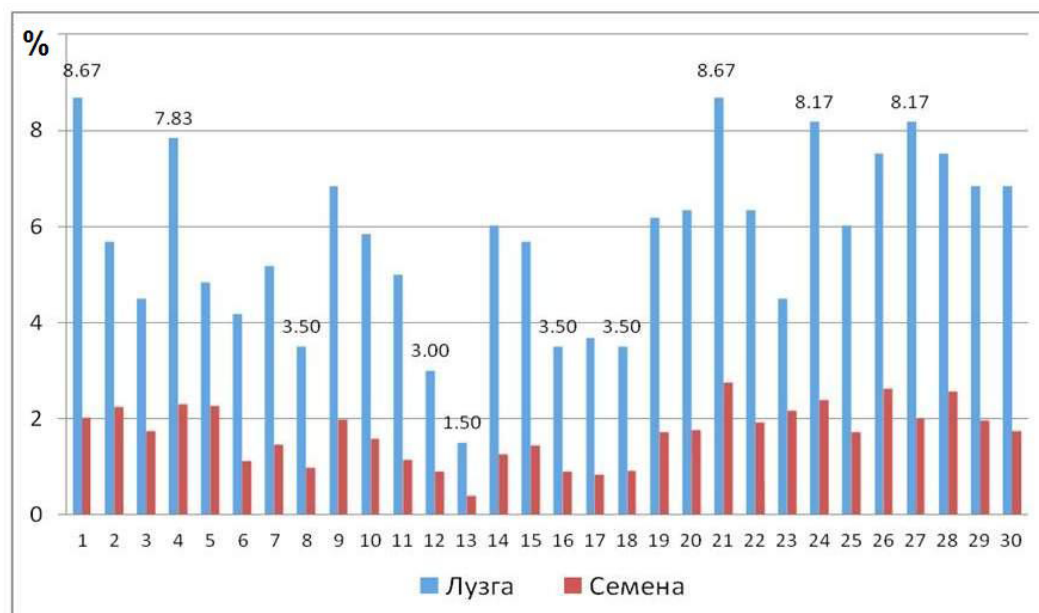


Рис. 6. Алломеланины (ось Y) в лузге и семенах образцов подсолнечника (ось X, см. Приложение)

Fig. 6. Allomelanins (Y-Axis) in husk and seed of sunflower accessions (X-Axis, see the Supplement)

Закключение

Алломеланины – это группа растительных пигментов, востребованных в различных отраслях современной промышленности (пищевой, косметической, фармацевтической, упаковочной). Оценка содержания меланинов в растительном сырье остается актуальной. В отличие от работы Ивановой и др. (Ivanova et al., 2019), предложенный нами модифицированный метод определения меланинов проводят без применения автоклава при атмосферном давлении, а осадок алломеланинов промывают до слабокислой среды, тем самым предотвращая их потери. Кроме того, для очистки выделенных алломеланинов применяют 80% этанол и 100% ацетон. Количественное определение меланинов осуществляется путем взвешивания очищенного осадка. Между содержанием алломеланинов в лузге и семенах обнаружена высокая положительная корреляция ($r = 0,83$). Метод позволяет проводить скрининговые исследования коллекционных образцов генетических ресурсов растений, выявлять образцы с высоким содержанием алломеланинов и в дальнейшем использовать их в качестве высоко меланинового сырья. Образцы подсолнечника с повышенным содержанием пигментов в лузге (к-2776, к-3511, к-3892, к-3901,

к-641884) являются источниками устойчивости к повреждению гусеницами подсолнечной огневки. Образцы с пониженным содержанием меланина к-3568, к-3647, к-3649, к-3760, к-3762 не рекомендуется использовать в дальнейшем селекционном процессе для закрепления устойчивости к этому вредителю.

References/Литература

- Alekseeva T.N., Oganessiants L.A., Krasnikova E.V., Rudometova N.V. Study of plant melanin as a food coloring agent for soft drinks (Issledovanie rastitel'nogo melanina kak pishchevogo krasitelya dlya bezalkogol'nykh napitkov). *Hranenie i pererabotka sel'khozsy'r'ja* = Storage and processing of agricultural raw materials. 2008;7:40-43. [in Russian] (Алексеева Т.Н., Оганесянц Л.А., Красникова Е.В., Рудометова Н.В. Исследование растительного меланина как пищевого красителя для безалкогольных напитков. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2008;7:40-43).
- Alekseeva T.N., Oreshchenko A.V., Kulakova A.V., Durnev A.D., Samusenok L.V., Ogarkov B.N. Effect of plant melanin pigment on the clastogenic effects of chemical mutagens in mice (Vliyanie rastitel'nogo melaninovo pigmenta na klastogennyye efekty khimicheskikh mutagenov u myshey). *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya* = Experimental and clinical pharmacology. 2001;6:56-59. [in Russian] (Алексеева Т.Н., Орещенко А.В., Кулакова А.В., Дурнев А.Д., Самусенок Л.В., Огарков Б.Н. Влияние растительного меланинового пигмента на кластогенные эффекты химических мутагенов у мышей.

- Экспериментальная и клиническая фармакология. 2001;6:56-59).
- Baraboi V.A. Structure, biosynthesis of melanins, their biological role and application prospects (Struktura, biosintez melaninov, ih biologicheskaya rol' i perspektivy primeneniya). *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in Current Biology*. 2001;12:1-12. [in Russian] (Барабой В.А. Структура, биосинтез меланинов, их биологическая роль и перспективы применения. *Успехи современной биологии*. 2001;12:1-12).
- Butterfield D.A. Spin labeling in disease. In: *Biological Magnetic Resonance*. L.J. Berliner, J. Reuben (eds.). New York: Springer Science and Business Media; 1982. Vol. 4. p.1-78. DOI: 10.1007/978-1-4615-6540-6_1
- Chu M., Hai W., Zhang Z., Wo F., Wu Q., Zhang Z., Shao Y., Zhang D. Sh.-zi, Jin L., Shi D. Melanin nanoparticles derived from a homology of medicine and food for sentinel lymph node mapping and photothermal *in vivo* cancer therapy. *Biomaterials*. 2016;91:182-199. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2016.03.018
- Duran J.M., Retamal N. Coat structure and regulation of dormancy in *Sinapis arvensis* L. seeds. *Plant Physiology*. 1989;135:218-222.
- Fomenko I.A., Ivanova L.A., Churmasova L.A., Degtyarev I.A. Production of water-soluble phytomelanins using various mineral acids. *Bulletin of Biotechnology and Physicochemical Biology named after Yu.A. Ovchinnikov*. 2021;17(2):64-68. [in Russian] (Фоменко И.А., Иванова Л.А., Чурмасова Л.А., Дегтярев И.А. Получение водорастворимых фитомеланинов с использованием различных минеральных кислот. *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова*. 2021;17(2):64-68).
- Gashnikova N.M., Balakhnin S.M., Teplyakova T.V., Anan'ko G.G., Kosogova T.A., Suhli A.S. Antiretroviral activity of melanins from natural and cultivated chaga (*Inonotus obliquus*) (Antiretrovirusnaya aktivnost' melaninov iz prirodnoy i kul'tiviruemy chagi (*Inonotus obliquus*)). *Uspekhi meditsinskoy mikologii = Advances in Medical Mycology*. 2014;12:299-301. [in Russian] (Гашикова Н.М., Балахнин С.М., Теплякова Т.В., Ананько Г.Г., Косогова Т.А., Сухих А.С. Антиретровирусная активность меланинов из природной и культивируемой чаги (*Inonotus obliquus*). *Успехи медицинской микологии*. 2014;12:299-301).
- Gerdemann C., Eicken C., Krebs B. The crystal structure of catechol oxidase: new insight into the function of type-3 copper proteins. *Accounts of Chemical Research*. 2002;35:183-191.
- Gracheva N.V., Zheltobryukhov V.F. Method for obtaining melanin from sunflower husk and study of its antioxidant activity (*Sposob polucheniya melanina iz luzgi podsolnechnika i issledovanie ego antioksidantnoy aktivnosti*). *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2016;19(15):154-157. [in Russian] (Грачева Н.В., Желтобрюхов В.Ф. Способ получения меланина из лузги подсолнечника и исследование его антиоксидантной активности. *Вестник Технологического университета*. 2016;19(15):154-157).
- Grossi G.F., Durante M., Gvalanella G. Effects of melanin on high-LET radiation response of human epithelial cells. *Radiation and Environmental Biophysics*. 1998;37:63-67.
- Hill H. The function of melanin or six blind people examine an elephant. *BioEssays*. 1992;14(1):49-56. DOI: 10.1002/bies.950140111
- Iuasifov E.Yu. Effect of melanin on the free-radical state of gamma-irradiated proteins and lipids (Vliyaniye melanina na svobodno-radikal'noe sostoyaniye gamma-obluchennykh belkov i lipidov. *Radiobiologiya = Radiobiology*, 1987;27(1):8-11. [in Russian] (Юасифов Э.Ю. Влияние меланина на свободнорадикальное состояние гамма-облученных белков и липидов. *Радиобиология*. 1987;27(1):8-11).
- Ivanova L.A., Fomenko I.A., Sergeeva D.A., Churmasova L.A., Kabarzhan Zh.K. Development of technologies for producing phytomelanins on waste oil production. *Health, Food and Biotechnology*. 2019;1(2):136-146. [in Russian] (Иванова Л.А., Фоменко И.А., Сергеева Д.А., Чурмасова Л.А., Кабаржан Ж.К. Разработка технологии получения фитомеланинов на отходах масличного производства. *Health, Food and Biotechnology*. 2019;1(2):136-146). DOI: 10.36107/hfb.2019.i2.s245
- Jana B., Mukherjee S. Notes on the distribution of phytomelanin layer in higher plants – a short communication. *Journal of Pharmaceutical Biology*. 2004;4(3):131-132.
- Kablov V.F., Novopoltseva O.M., Gracheva N.V., Zheltobryukho V.F., Dao Ph.K. Prospects of application of melanins as antiaging agents in elastomer compositions. *Vietnam Journal of Chemistry*. 2019;57(2):255-260. DOI: 10.1002/vjch.201960024
- Kartushina Yu.N., Kirichenko M.A., Sevriukova G.A. Obtaining melanin based on waste from oil extraction production (Poluchenie melanina na osnove otkhodov masloeekstraktsionnogo proizvodstva). *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2016;19(16):124-126. [in Russian] (Картушина Ю.Н., Кириченко М.А., Севрюкова Г.А. Получение меланина на основе отходов маслоэкстракционного производства. *Вестник Технологического университета*. 2016;19(16):124-126).
- Korytowski W., Sarna T. Bleaching of melanin pigments. Role of copper ions and hydrogen peroxide in autooxidation and photooxidation of synthetic dopa-melanin. *Biological Chemistry*. 1990;265(21):12410-12416.
- Liakh S.P., Bulgak M.L., Isaev A.G. Astromelanin: a therapeutic agent for melanothrapy: the book is dedicated to the 40th anniversary of the study of the Antarctic black yeast *Nadsoniella nigra* var. *hesuelica* and their melanopigment AstroMelanin. Moscow; 2007. [in Russian] (Лях С.П., Булгак М.Л., Исаев А.Г. Астромеланин: лечебное средство для меланотерапии: книга посвящена 40-летию изучения антарктических черных дрожжей *Nadsoniella nigra* var. *hesuelica* и их меланопигмента АстроМеланина. Москва; 2007).
- Lopusiewicz L., Drozłowska E., Trocer P., Kostek M., Śliwiński M., Henriques M.H.F., Bartkowiak A., Sobolewski P. Whey protein concentrate/ isolate biofunctional films modified with melanin from watermelon (*Citrullus lanatus*) seeds. *Materials*. 2020;13(17):3876. DOI: 10.3390/ma13173876
- Novikov D.A., Kurchenko V.P., Azarko I.I. Photoprotective properties of melanins from grape (*Vitis vinifera*) and black tea (*Thea sinensis*). *Radiation biology. Radioecology*. 2001;41(6):664-670. [in Russian] (Новиков Д.А., Курченко В.П., Азарко И.И. Фотопротективные свойства меланинов из винограда (*Vitis vinifera*) и черного грузинского чая (*Thea sinensis*). *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2001;41(6):664-670).
- Özdemir Ö., Keleş Y. Extraction, purification, antioxidant properties and stability conditions of phytomelanin pigment on the sunflower seeds. *International Journal of Secondary Metabolite*. 2018;5(2):140-148 DOI: 10.21448/ijsm.377470
- Park K.I., Ishikawa N., Morita Y. Choi J.D., Hoshino A., Iida S. A *bHLH* regulatory gene in the common morning glory, *Ipomoea purpurea*, controls anthocyanin biosynthesis in flowers, proanthocyanidin and phytomelanin pigmentation in seeds, and seed trichome formation. *The Plant Journal*. 2007;49(4):641-654. DOI: 10.1111/j.1365-3113X.2006.02988.x
- Perestova T.A. Method of early diagnosis of the incrustation of sunflower achenes: (guidelines) (*Sposob ranney diagnostiki pantsirnosti semyanok podsolnechnika*). Krasnodar: VNIIMK; 1988. [in Russian] (Перестова Т.А. Способ ранней диагностики панцирности семян подсолнечника: методические указания. Краснодар: ВНИИМК; 1988).
- Pralea I.E., Moldovan R.C., Petrache A.M., Ilieș M., Hegheș S.C., Ielciu I., Nicoară R., Moldovan M., Ene M., Radu M., Uifălean A., Iuga C.-A. From extraction to advanced analytical methods: the challenges of melanin analysis. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(16):3943. DOI: 10.3390/ijms20163943
- Prutenskaia E.A., Vasil'ev A.S., Lebedeva E.Yu., Ushchapovsky I.V., Silchenko V.A. Comparative characteristics of the structure of melanins of different origin (Sravnitel'naya kharakteristika struktury melaninov razlichnogo proiskhozhdeniya). *International Scientific Journal. Symbol of Science*. 2016;11(3):11-13. [in Russian] (Прутенская Е.А., Васильев А.С., Лебедева Е.Ю., Ущачовский И.В., Сильченко В.А. Сравнительная характеристика структуры меланинов различного происхождения. *Международный научный журнал. Символ науки*. 2016;11(3):11-13).
- Rogers C.E., Kreitner G.L. Phytomelanin of sunflower achenes: a

- mechanism for pericarp resistance to abrasion by larvae of the sunflower moth (Lepidoptera: Pyralidae). *Environmental Entomology*. 1983;12(2):277-285. DOI: 10.1093/ee/12.2.277
- Saha L., Tiwari J., Baudh K., Ma Y. Recent developments in microbe-plant-based bioremediation for tackling heavy metal-polluted soils. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:731723. DOI: 10.3389/fmicb.2021.731723.
- Sava V.M., Yang S.-M., Hong M.-Y., Yang P.-C., Huang G.S. Isolation and characterization of melanic pigments derived from tea and tea polyphenols. *Food Chemistry*. 2001;73:177-184. DOI: 10.1016/S0308-8146(00)00258-2
- Shkolnikova M.N., Kadritskaya E.A. Rationale for the use of buckwheat husk for the production of functional food colors. *Scientific Journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2020;4:22-28. [in Russian] (Школьникова М.Н., Кадрицкая Е.А. Обоснование использования лужги гречихи для получения функциональных пищевых красителей. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2020;4:22-28). DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-4-22-28
- Shoeva O.Y., Mursalimov S.R., Gracheva N.V., Glagoleva A.Y., Börner A., Khlestkina E.K.. Melanin formation in barley grain occurs within plastids of pericarp and husk cells. *Scientific Reports*. 2020;10(1):179. DOI: 10.1038/s41598-019-56982-y
- Solano F. Melanins: Skin Pigments and Much More – Types, Structural Models, Biological Functions, and Formation Routes. *New Journal of Science*. 2014(5):1-28. DOI: 10.1155/2014/498276
- Varga M., Berkesi O., Darula Z., May N.V., Palágyi A. Structural characterization of allomelanin from black oat. *Phytochemistry*. 2016;130:313-320. DOI: 10.1016/j.phytochem.2016.07.002
- Vorontsova Z.A., Ivanov A.A., Nikityuk D.B., Avanesova A.A. Some morphoclinical evidence about radioprotective melanin character (literature report). *Bulletin of New Medical Technologies*. 2016;4:295-302. [in Russian] (Воронцова З.А., Иванов А.А., Никитюк Д.Б., Аванесова А.А. Некоторые морфоклинические доказательства радиопротективного характера меланинов (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий*. 2016;4:295-302). DOI: 10.12737/22219

Информация об авторах

Виталий Сергеевич Попов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, popovitaly@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Дмитрий Львович Корнюхин, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, dkor4@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9181-5368>

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Вера Алексеевна Гаврилова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, v.gavrilova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

Валентина Ивановна Хорева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

Information about the authors

Vitaliy S. Popov, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, popovitaly@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3274-7662>

Dmitry L. Kornukhin, Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, dkor4@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9181-5368>

Tatiana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Vera A. Gavrilova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, v.gavrilova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

Valentina I. Khoreva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, horeva43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2762-2777>

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 25.12.2024; одобрена после рецензирования 17.02.2025; принята к публикации 19.03.2025.

The article was submitted on 25.12.2024; approved after reviewing on 17.02.2025; accepted for publication on 19.03.2025.



Идентификация видов вики рода *Vicia* L. по составу основных полипептидов 11S глобулина семян на примере *V. narbonensis* complex и *V. pannonica* Crantz

Э. Э. Егги¹, Т. Г. Александрова¹, Ал. В. Конарев^{1,2}

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

²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР), Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Васильевич Конарев, alv-konarev@yandex.ru

Для сохранения чистоты, контроля идентичности, при репродуцировании поступающих в коллекцию семян разных таксономических групп растений требуется разработка простых и быстрых скрининговых методов, позволяющих осуществлять предварительную идентификацию и регистрацию материала. Наиболее подходящим для этих целей является метод SDS-электрофореза запасных белков семян. Однако его варианты, известные из литературы, преимущественно включают анализ полного белкового спектра, который, как правило, весьма гетерогенен, что осложняет интерпретацию результатов. Наша задача – найти в этом многокомпонентном спектре четко идентифицируемую и специфичную для конкретного вида группу полипептидов конкретного белка. Объектом исследования послужили белки семян 47 образцов пяти видов *Vicia* L. subgenus *Vicia*, которые были проанализированы методом SDS-электрофореза в 12,5% ПААГ.

Сопоставлением спектров белков суммарного экстракта семян, разделенных электрофорезом в присутствии 2-меркаптоэтанола и без него, была идентифицирована группа основных полипептидов 11S глобулина – легумина, по которой можно визуально однозначно определять видовую принадлежность семян вики, причем как у самоопыляющихся, так и у перекрестноопыляемых видов. Обнаружено, что в пределах вида образцы различались только по интенсивности отдельных компонентов, но не по компонентному составу, что указывает на видоспецифичность спектра основных полипептидов 11S глобулина. Четкие различия по составу основных полипептидов наблюдались между близкородственными и трудноразличимыми в полевых условиях видами *V. narbonensis* complex. Видовая специфичность спектров данной группы полипептидов коррелирует с репродуктивной изоляцией видов. В свою очередь, культурные и сорнополевые образцы вики пannonской (*V. pannonica* Crantz) различного географического происхождения из коллекции ВИР с вероятно преимущественно перекрестным опылением проявили сходство по спектрам основных полипептидов легумина. Спектры основных полипептидов 11S глобулина видов *V. hyaeniscyamus* Mout., *V. narbonensis* L., *V. serratifolia* Jacq., *V. johannis* Tamamschjan in Karyagin, и *V. pannonica* Crantz были зарегистрированы по «соевой шкале» в виде «полипептидной формулы». Таким образом, предложенный метод, включающий идентификацию основных полипептидов 11S глобулина в многокомпонентном спектре белков семян, может быть рекомендован для быстрого скрининга семенных коллекций как самоопыляющихся, так и перекрестноопыляемых видов рода *Vicia*. Данный простой метод также имеет перспективу использования для определения видовой принадлежности образцов других двудольных культур.

Ключевые слова: вика, *Vicia*, полипептидные спектры, 11S глобулин, легумин, основные полипептиды, видовая специфичность, идентификация видов, регистрация образцов

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке в рамках государственного задания согласно тематическим планам ВИР по проекту №FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства». Часть работы выполнена в рамках проекта «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» (Соглашение № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021)

Для цитирования: Егги Э.Э., Александрова Т.Г., Конарев Ал.В. Идентификация видов вики (*Vicia* L.) по составу основных полипептидов 11S глобулина семян на примере *V. narbonensis* complex и *V. pannonica* Crantz. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(1):33-45. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-01

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

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-01

Identification of vetch species of the genus *Vicia* L. by the composition of the 11S globulin basic polypeptides of seeds using *V. narbonensis* complex and *V. pannonica* Crantz as an example

Elly E. Eggi¹, Tatiana G. Aleksandrova¹, Alexander V. Konarev^{1,2}¹N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia²All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Alexander V. Konarev, alv-konarev@yandex.ru

Background. The maintenance of purity, control of identity, and reproduction of seeds of different taxonomic groups of plants entering the collection requires simple and rapid screening methods that allow preliminary identification and registration of the material. The most suitable method for these purposes is SDS-electrophoresis of seed storage proteins, but its variants known from the literature mainly include analysis of the total protein pattern, which is usually very heterogeneous and thus complicates the interpretation of the obtained results. The **objective** of the work was to find a clearly identifiable and species-specific group of polypeptides of a particular protein in this multicomponent pattern. **Materials and methods.** The objects of the study were seed proteins of 47 accessions of five species of *Vicia* L. subgenus *Vicia*, analyzed by SDS-electrophoresis in 12.5% PAAG. **Results and discussion.** A comparison of patterns of the total extracted seed proteins separated by electrophoresis in the presence and absence of 2-mercaptoethanol identified a group of the 11S globulin (legumin) basic polypeptides, which allows visual unambiguous determination of a species (both self- and cross-pollinated) to which vetch seeds belong. It was found that the accessions differed only in the intensity of individual bands within the species, but not in the band composition, indicating the species-specific pattern of the 11S globulin basic polypeptides. Clear differences in the basic polypeptides composition were observed between the closely related species of the *V. narbonensis* complex, which are difficult to distinguish in the field. The species specificity of the patterns in this group of polypeptides correlates with the reproductive isolation of the species. In turn, cultivated and weedy accessions of Pannonian vetch, *V. pannonica* Crantz, of different geographical origins from the VIR collection with a likely predominance of cross-pollination showed homogeneity in the patterns of the legumin basic polypeptides. The patterns of the 11S globulin basic polypeptides of *V. hyaeniscyamus* Mout., *V. narbonensis* L., *V. serratifolia* Jacq., *V. johannis* Tamamschjan in Karyagin, and *V. pannonica* were recorded using the “soybean scale” in the form of a “polypeptide formula”. **Conclusion.** Therefore, the proposed method, including the identification of the 11S globulin basic polypeptides in the multicomponent pattern of seed proteins, can be recommended for rapid screening of seed collections of both self-pollinated and cross-pollinated species of the genus *Vicia*. This simple method is also promising for identifying species of other dicotyledonous crops.

Keywords: vetch, *Vicia*, polypeptide profiles, 11S globulin, legumin, basic polypeptides, species specificity, species identification, registration of seed accessions

Acknowledgements: The work was financially supported within the framework of the State Assignment in accordance with the thematic plans of VIR project No. FGEM-2022-0002 “Identifying possibilities in the genetic diversity of leguminous crops to optimize their breeding and diversify uses in various sectors of the national economy”. Part of the work was carried out within the framework of the project “National network collection of plant genetic resources for effective scientific and technological development of the Russian Federation in the field of genetic technologies”, Agreement No. 075-15-2021-1050 dated September 28, 2021.

For citation: Eggi E.E., Aleksandrova T.G., Konarev A.V. Identification of vetch species of the genus *Vicia* L. by the composition of the 11S globulin basic polypeptides of seeds using the example of the *V. narbonensis* complex and *V. pannonica* Crantz. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(1):33–45. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-01

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

© Eggi E.E., Aleksandrova T.G., Konarev A.V., 2025

Введение

Виды рода *Vicia* L. имеют важное значение как источник полноценного белка для человека. Они также применяются как корм для животных, сидераты, элементы систем севооборота, улучшители почвы и восстановители загрязненных экосистем, как медоносы и источники биологически-активных соединений для фармакологии (Ibañez et al., 2020; Salehi et al., 2021; Dhull et al., 2022). По состоянию на 01.11.2024, коллекция ВИР содержала 5920 образцов 58 видов вики. Коллекция постоянно пополняется, а ее воспроизведение для поддержания всхожести и размножения требует контроля чистоты семенного материала. Для быстрой видовой идентификации и регистрации новых образцов или проверки подлинности семян после репродуцирования необходим простой и доступный метод. Методы, основанные на специфичности ДНК, применяются для анализа разнообразия генофонда рода *Vicia* (Han et al., 2021; Bosmali et al., 2022; El-Badan et al., 2022), однако они больше пригодны для различения видов (и то не всегда) или решения проблем филогении и, в силу относительной сложности и трудоемкости, а также отсутствия единого подхода, пока не годятся на роль простого и универсального метода скрининга семенного материала вики. То же справедливо и в отношении кариологических методов (Gianfranco et al., 2008). Одним из наиболее подходящих для этих целей является метод SDS-электрофореза запасных белков семян, который широко используется в решении вопросов филогении, систематики, идентификации сортов, контроля партий семян, а также в процессе анализа генетического разнообразия образцов коллекций бобовых и других растений (Konarev V.G., 2000). Данный подход был успешно использован исследователями из ВИР и многих отечественных и зарубежных лабораторий для решения ряда важных проблем систематики, селекции и семеноводства вики и других бобовых культур (Tarlakovskaya et al., 1990; Eggi, 2013; 2015; Tripathy, 2018; Eggi et al., 2019; Eggi, Aleksandrova, 2019; Ali, Osman, 2020; Mazin, Eggi, 2021; Hasan, Haddad, 2023; Khalid et al., 2023; Konarev et al., 2024). Для рода *Vicia* фундаментом таких работ явилось исследование девяти видов, эндемичных для Восточной Азии (Potokina et al., 2003). Полученные филогенетические выводы соответствовали данным анализа морфологических признаков и полиморфизма ДНК, а электрофоретический спектр белков семян был рекомендован для выяснения филогенетических связей между видами и внутри видов среди восточноазиатских эндемичных таксонов рода *Vicia*. Подобные исследования впоследствии были проведены для таксонов вики разного ранга из Сирии (Miralí, 2005), Египта (Khalik, Al-Gohary, 2013), Алжира (Bechkri et al., 2017), а также из других стран Африки и Азии (El-Badan et al., 2021). В этих работах проводился подсчет и анализ всех компонентов белкового спектра из общего водосолерастворимого экстракта семян. Данный экстракт, помимо запасных белков, поли-

пептидный состав которых в зрелых семенах генетически детерминирован и не зависит от условий, в которых формировались семена, содержит другие белки, например ферменты, подверженные такому влиянию. Следует отметить, что упомянутые выше варианты электрофореза, как правило, включают довольно трудоемкий анализ полного белкового спектра, который может быть весьма гетерогенным, что осложняет интерпретацию результатов. Очевидно, что требуется упрощение такого анализа. Известно также, что видовую или сортовую идентификацию по белкам семян намного проще осуществлять на самоопыляющихся видах растений, у которых спектр белков относительно мало изменчив в пределах вида или сорта, в отличие от перекрестноопыляемых растений, у которых семена одного образца могут существенно отличаться между собой по спектрам белков (Cooke, 1995; Konarev A.I., 2000; Miralí, 2005). Использование упомянутого выше подхода для идентификации перекрестноопыляемых форм сопряжено с анализом большого числа семян для определения частоты встречаемости отдельных типов спектра. Электрофоретический анализ всего комплекса запасных белков, в свою очередь, позволяет легко установить тип опыления конкретного образца (Miralí, 2005; Tripathy, 2018).

Запасные белки семян бобовых на 70% состоят из легуминов и вицилинов, причем на легумины приходится большая их часть (Shevkani et al., 2019; Zha et al., 2021).

Легумины и легумин-подобные белки бобовых и других двудольных (11S или, по данным ряда авторов, 12S глобулины) представлены гексамерными молекулами с массой M_r от 300 кДа до 400 кДа, где каждая субъединица-мономер содержит кислый (α , около 40 кДа) и основной (β , около 20 кДа) полипептиды, которые связаны между собой дисульфидным мостиком (Shewry et al., 1995; Zha et al., 2021). Названия “основные” и “кислые” полипептиды получили по их заряду в глобуле. Данные полипептиды образуются после точечного протеолиза исходного пептида (Shewry et al., 1995; Zha et al., 2021). У *Vicia faba* L., наиболее изученного в отношении генетики легуминов представителя рода *Vicia*, данные белки имеют мультигенный контроль, причем при созревании семени отдельные гены экспрессируются во времени независимо друг от друга (Heim et al., 1989; Warsame et al., 2022). Для нескольких наиболее активно экспрессируемых в семенах и охарактеризованных генов характерна микрогетерогенность нуклеотидных последовательностей, которая обуславливает синтез нескольких десятков пептидов (Heim et al., 1989; Horstmann et al., 1993). Интересно, что у разных генотипов *V. faba* при SDS-электрофорезе внутривидовой полиморфизм проявляется лишь у кислых (α) полипептидов легумина, в отличие от основных (β), причем для кислых полипептидов показан простой менделевский характер наследования (Tucci, et al., 1991). Одним из итогов этих исследований явилось понимание того, что гетерогенность пептидов легумина напрямую отражает гетерогенность контролирующих их генов,

что является важным аргументом в пользу обоснованности использования электрофоретических компонентов данного полиморфного белка в качестве генетических маркеров. В свою очередь, молекула вицилина (7S глобулина) является тримером с молекулярной массой 150-190 кДа. Вицилины и легумины эволюционно родственны, однако гены последних содержат не менее четырех больших инсерций, вставок дополнительных последовательностей ДНК, благодаря которым, легумины имеют большую молекулярную массу. Кроме того, вицилины не содержат дисульфидных связей, протеолиз исходных пептидов с M_r 47-50 кДа может происходить в разных местах, а их посттрансляционные модификации включают также гликозилирование, что приводит к большому разбросу по размеру конечных пептидов от 12 кДа до 33 кДа (Shewry et al., 1995; Shutov et al., 1995) и может являться одной из причин высокой гетерогенности их электрофоретического спектра.

Цель нашего исследования – найти четко идентифицируемую группу полипептидов конкретного белка в многокомпонентном спектре суммарного белкового экстракта семян, пригодную для простой и быстрой идентификации и регистрации коллекционных образцов видов вики. Это

особенно актуально для лабораторного контроля чистоты сохраняемых многовидовых коллекций семян, используемых в генетических и селекционных программах. По нашим предварительным наблюдениям, перспективной в данном отношении может быть группа основных полипептидов 11S глобулина, легко идентифицируемых в электрофоретическом спектре. Основанием для такого предположения явились полученные ранее результаты анализа частоты встречаемости основных полипептидов 11S глобулина, которые позволили выявить статистически значимые различия между сортами перекрестноопыляемой бобовой культуры козлятника восточного *Galega orientalis* Lam. (Eggi, 2015).

Материалы и методы

Объектами исследования являлись 47 образцов пяти видов вики, четыре из которых принадлежат к близкородственным видам секции *Narbonensis* (B. Fedtsch. ex Radzhi) Maxted, к комплексу, называемому *V. narbonensis* complex, и один вид – к секции *Hypechusa* (Alef.) Asch. & Graebner (таблица 1).

Таблица 1. Виды рода *Vicia* L. подрода *Vicia из коллекции ВИР, проанализированные методом SDS-электрофореза**

Table 1. Species of the genus *Vicia* L. subgenus *Vicia from the VIR collection analyzed by SDS-electrophoresis**

Секция/ Section	Вид/ Species	Внутривидовой таксон/ Intraspecific taxon	Число образцов/ Number of accessions	Происхождение/ Origin
<i>Hypechusa</i> (Alef.) Asch. & Graebner	<i>Vicia pannonica</i> Crantz	subsp. <i>pannonica</i>	18	Австрия, Азербайджан, Армении, Башкирия, Венгрия, Германия, Грузия, Польша, Украина, Чехословакия, Югославия
<i>Narbonensis</i> (B. Fedtsch. ex Radzhi) Maxted	<i>V. johannis</i> Tamamschjan in Karyagin	var. <i>procumbens</i> H. Schäfer var. <i>johannis</i>	8	Германия, Сирия, Туркменистан, Турция
	<i>V. serratifolia</i> Jacq.	—	1	Италия
	<i>V. narbonensis</i> L.	var. <i>salmonea</i> (Mout.) H. Schäfer var. <i>jordanica</i> H. Schäfer var. <i>affinis</i> Kornhuber ex Asch. & Schweinf. var. <i>aegyptica</i> Kornhuber ex Asch. & Schweinf. var. <i>narbonensis</i>	17	Греция, Италия, Израиль, Иордания, Ливан, Мальта, Марокко, Палестина, Португалия, Сирия, Турция
	<i>V. hyaeniscyamus</i> Mout.	—	3	Сирия

*Таксоны разного ранга приведены по Maxted, 1993/ *Taxa of different ranks are given according to Maxted, 1993 (Maxted, 1993)

Белки экстрагировали настаиванием 5 мг муки семян в 140 мкл 0,025 М трис-глицинового электродного буфера, pH 8,3 в течение 40 минут при комнатной температуре. Электрофорез проводили в 12,5% полиакриламидном геле (ПААГ) в диссоциирующей системе с 0,001% додецилсульфатом натрия (SDS-электрофорез) по Лэммли (Laemmli, 1970; Konarev et al., 2024). К экстракту добавляли равный объем буфера нанесения с 2% 2-меркаптоэтанолом или без него. Фракционирование белков осуществляли в приборе для вертикального электрофореза (Хийу Калур, Эстония). Анализ проводили на единичных семенах оригинальных образцов и их репродукций (5-20 семян) по стандартной методике, принятой в ВИР для регистрации образцов двудольных культур и утвержденной Международной ассоциацией тестирования семян ISTA (International Seed Testing Association; Cooke, 1992) для анализа образцов гороха (Tarlakovskaya et al. 1990; Konarev A.I., 2000). Гели окрашивали красителем Coomassie R-250. Поскольку электрофоретический спектр белков семян культурной сои *Glycine max* (L.) Merr. идентичен у представителей вида (Eggi, 2013), для контроля может быть использован любой образец данной культуры. В наших работах спектр белков сои сорта 'Комсомолец' к-5950 коллекции ВИР служит стандартом для нумерации и регистрации полипептидных спектров семян разных культур (Eggi, 2013; 2015).

Результаты и обсуждение

Для решения поставленной задачи были выбраны виды, отличающиеся по положению в системе рода *Vicia*, уровню близости и степени окультуривания, а именно видовой комплекс *V. narbonensis* и культивируемый вид *V. pannonica* Crantz (вика паннонская). Однолетние виды *V. narbonensis* complex считаются перспективными ценными кормовыми культурами (Bouabid et al., 2019). Вика нарбонская (*V. narbonensis* L.) с древности культивируется на Ближнем Востоке в Средиземноморье, произрастая там же в диком виде (Enneking, Maxted, 1995). Виды данного комплекса преимущественно самоопыляющиеся, но у отдельных форм в различной степени наблюдается и факультативное перекрестное опыление (до 5-10%) (Enneking, Maxted, 1995; Potokina, Aleksandrova, 1996; Bouabid et al., 2019). Виды комплекса трудно различимы в полевых условиях (Bennett, Maxted, 1997), что явилось одним из оснований для выбора их в качестве объекта для нашего исследования. Разновидности в пределах данных видов легко скрещиваются, но межвидовые скрещивания не дают жизнеспособных семян (Enneking, Maxted, 1995).

Вика паннонская – важная кормовая культура на Ближнем Востоке и в Европе, включая Россию (Firincioglu et al., 2011; Aleksandrova, 2018), представленная множеством генотипов и сортов (Ilieva, Naidenova, 2016). Кроме того, широко распространены и дикие формы вида, многие из которых являются вторично одичав-

шими (Firincioglu et al., 2011). Наиболее распространено мнение, что *V. pannonica* опыляется пчелами (McGregor, 1976; Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries, 2024), но по другим данным у этого вида может встречаться и самоопыление (Breeding systems table, 2024). Среди основных видов зерновых бобовых культур и их диких родичей *V. pannonica*, наряду с *V. faba*, относится по системе опыления к факультативным самоопылителям с высокой степенью аутбридинга (Vishnyakova et al., 2018).

На рисунке 1 показаны полипептидные спектры суммарных белков семян образцов исследованных видов вика из коллекции ВИР. Внизу рисунка приведены фотографии семян, для которых получены спектры, и номера образцов по каталогу коллекции ВИР. Для контроля опыта использована соя.

Как видно из рисунка 1, полипептидные спектры различаются по положению и интенсивности множества компонентов, однако использование таких сложных спектров при массовом скрининге коллекционного материала для видовой идентификации и регистрации образцов требует значительных затрат времени и усилий. В случае составления «белковой формулы» видов по «соевой шкале» пришлось бы учитывать много компонентов, не всегда легко идентифицируемых в сложном спектре.

Мы поставили задачу выделить в суммарных полипептидных спектрах семян зону четко выявляемых компонентов, принадлежащих одной белковой системе и однозначно позволяющих идентифицировать виды рода *Vicia*. По нашим предварительным данным, кандидатами на роль такой системы являются полипептиды легумина, 11S глобулина, возможность использования которых для указанных выше целей мы и решили проверить. Особенностью данного типа глобулинов двудольных является наличие дисульфидных связей между пептидами α и β , формирующими мономеры, которые, в свою очередь, в нативных условиях за счет нековалентных связей объединяются в гексамер (Shewry et al., 1995; Zha et al., 2021).

В присутствии SDS исходные гексамеры легумина массой от 300 кДа до 400 кДа диссоциируют до мономеров массой около 60 кДа, которые, в свою очередь, под действием 2-меркаптоэтанолла распадаются на пептиды α и β (Shevkani et al., 2019).

Находясь в комплексе с SDS, в процессе электрофореза в ПААГ полипептиды распределяются по молекулярной массе (Laemmli, 1970). Мелкие молекулы движутся быстрее и занимают нижнюю часть белкового спектра, крупные – медленнее и находятся в верхней его части.

На рисунке 2 показаны примеры идентификации зоны основных полипептидов у образцов разных видов вика путем сопоставления спектров, полученных без обработки белковых экстрактов из семян 2-меркаптоэтанолом и с обработкой данным реагентом. В спектре без 2-меркаптоэтанолла 11S глобулин представлен глобулами-номерами размером около 60 кДа. В присутствии 2-меркаптоэтанолла глобула распадается на основные (около

20 кДа) и кислые (около 40 кДа) полипептиды. Место положения глобулы в этом спектре остается свободным. Основные полипептиды легумина оказываются в зоне

почти свободной от компонентов других белков и легко могут быть идентифицированы.

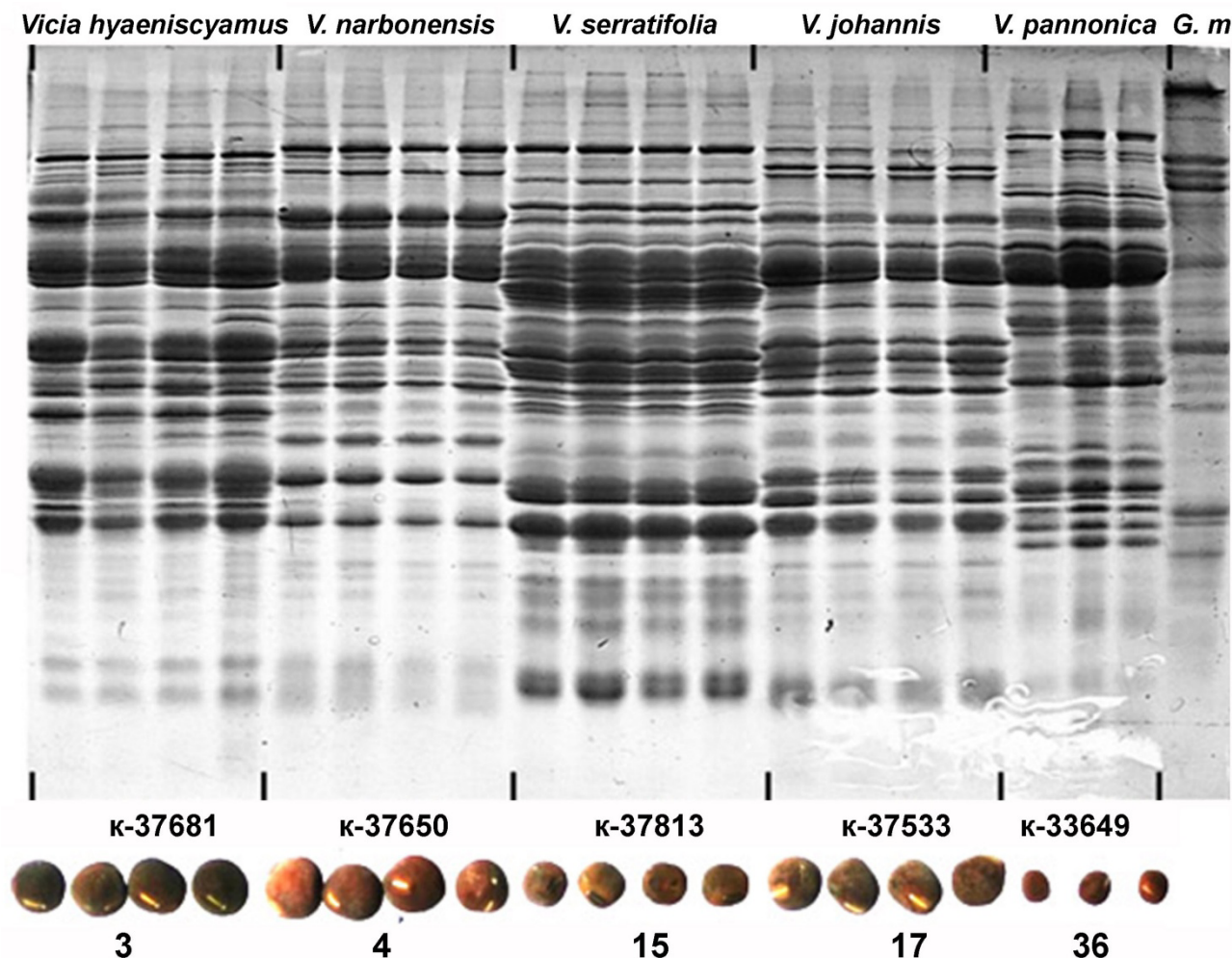


Рис. 1. Электрофоретические спектры белков, экстрагированных из семян видов рода *Vicia* L. и фото семян, из которых выделены белки

Образцы обозначены номерами по каталогу ВИР. Цифры и числа 3, 4, 15, 17 и 36 – краткие условные обозначения образцов. В качестве контроля использованы белки семян сои *Glycine max* (L.) Merr., к-5950, сорт 'Комсомолка'

Fig. 1. Electrophoretic patterns of proteins extracted from seeds of species of the genus *Vicia* L. and photos of the source seeds

Accession designation according to the VIR catalogue. The numbers 3, 4, 15, 17 and 36 are short conventional designations of the accessions. Seed proteins from soybean cv. 'Komsomolka' (*Glycine max* (L.) Merr., k-5950) were used as a control

На рисунке 3 представлены фрагменты спектров основных полипептидов легумина видов вики. Зона, включающая компоненты с молекулярной массой около 20 кДа, вырезана из полных полипептидных спектров (см. рис. 1 и рис. 2). Также представлены спектры полипептидов произвольно выбранных образцов – представителей трех видов: X_1 , X_2 , X_3 . Визуально не трудно определить, что X_1 соответствует образцу 17 (*V. johannis* var. *procumbens* H. Schäfer), X_2 – образцу 4 (*V. narbonensis*

var. *narbonensis*), X_3 – образцу 3 (*V. hyaeniscyamus* Mout.). Очевидно, что рисунок компонентов каждого из представленных образцов индивидуален и легко может быть идентифицирован. Таким образом, электрофоретические спектры основных полипептидов легумина являются специфичными для отдельных видов вики. Что касается кислых полипептидов легумина, то при данных условиях электрофореза они оказываются в гетерогенной зоне совместно с полипептидами иной природы (см. рис. 2).

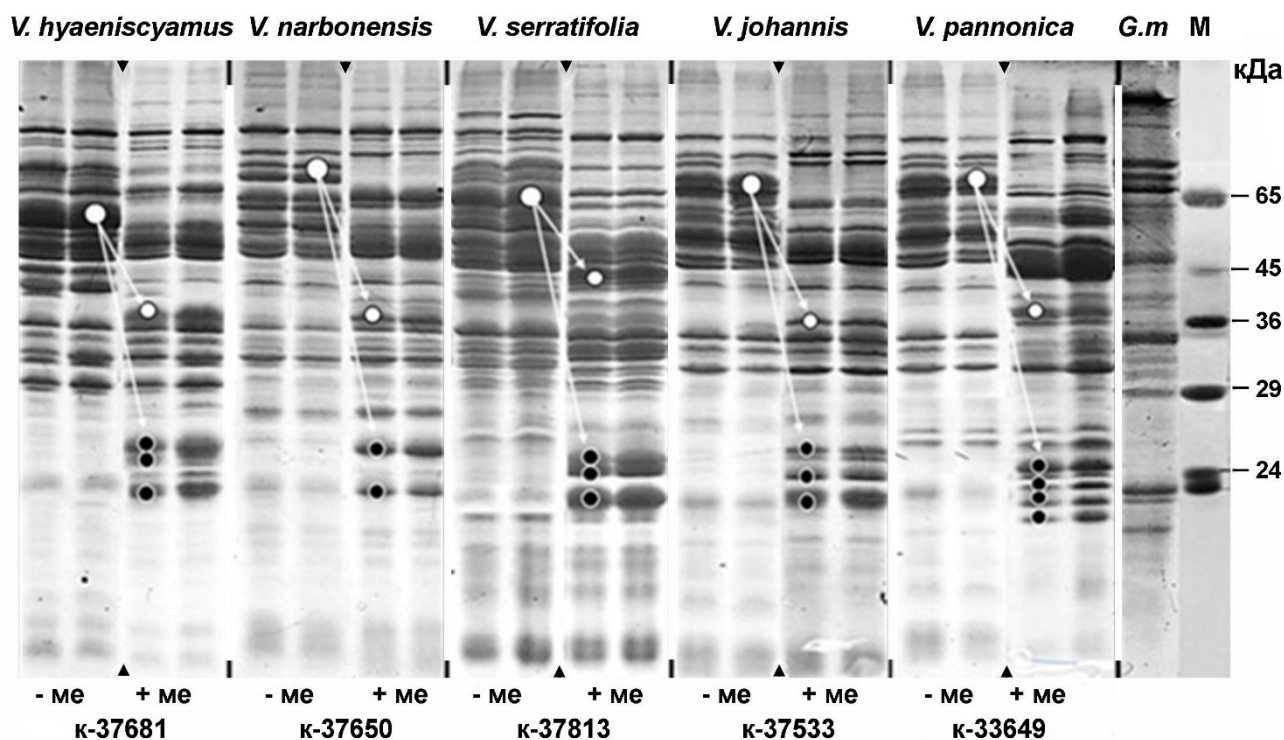


Рис. 2. Идентификация основных полипептидов видов рода *Vicia* L. путем сопоставления электрофоретических спектров белков семян, обработанных перед нанесением на гель 2-меркаптоэтанолом (+ме) и не обработанных (-ме)

Обозначения: большие белые кружки – глобулы 11S глобулина (исходные мономеры); малые белые кружки – кислые полипептиды 11S глобулина; черные кружки – основные полипептиды 11S глобулина. М – маркеры молекулярных масс: 65 кДа – бычий сывороточный альбумин, 45 кДа – яичный альбумин, 36 кДа – глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа, 29 кДа – карбоангидраза, 24 кДа – трипсиноген

Fig. 2. Identification of the basic polypeptides of *Vicia* L. species by comparing the electrophoretic patterns of seed proteins treated with 2-mercaptoethanol (+me) and untreated (-me) before gel application

Designations: large white circles – 11S globulin globules (initial monomers); small white circles – 11S globulin acidic polypeptides; black circles – 11S globulin basic polypeptides. M – molecular mass markers: 65 kDa – bovine serum albumin, 45 kDa – egg albumin, 36 kDa – glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase, 29 kDa – carbonic anhydrase, 24 kDa – trypsinogen

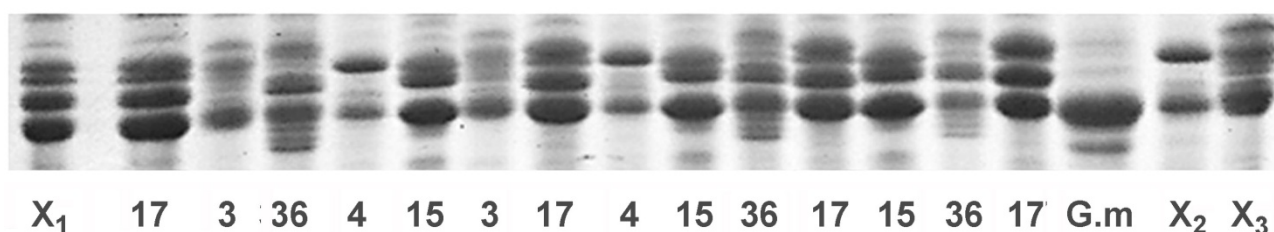


Рис. 3. Фрагменты электрофоретических спектров (зона основных полипептидов) легумина семян пяти видов рода *Vicia* L.

Цифрами и числами обозначены спектры видов: 3 – *V. hyaeniscyamus* Mout. (к-37681), 4 – *V. narbonensis* var. *narbonensis* (к-37650), 15 – *V. serratifolia* Jacq. (к-37813), 17 – *V. johannis* var. *procumbens* H. Schäfer (к-37533), 36 – *V. pannonica* Crantz (к-33649). Спектры видов представлены в нескольких повторах в случайном порядке. X1, X2 и X3 – произвольно выбранные другие образцы семян трех из перечисленных видов (пояснение в тексте)

Fig. 3. Fragments of legumin electrophoretic patterns (basic polypeptides zone) of five species of the genus *Vicia* L.

Patterns numbering: 3 – *V. hyaeniscyamus* Mout. (к-37681), 4 – *V. narbonensis* var. *narbonensis* (к-37650), 15 – *V. serratifolia* Jacq. (к-37813), 17 – *V. johannis* var. *procumbens* H. Schäfer (к-37533), 36 – *V. pannonica* Crantz (к-33649). Patterns of the species are presented in several replications in random order. X1, X2 and X3 – other randomly selected seed accessions of three among the listed species (explanation in the text)

Это затрудняет их распознавание и для быстрой видовой идентификации они мало пригодны.

Чтобы показать, что вариабельность основных полипептидов внутри вида не выходит за рамки видоспеци-

фичного признака, приводим спектры основных полипептидов для всех проанализированных образцов пяти видов вики (рис. 4).

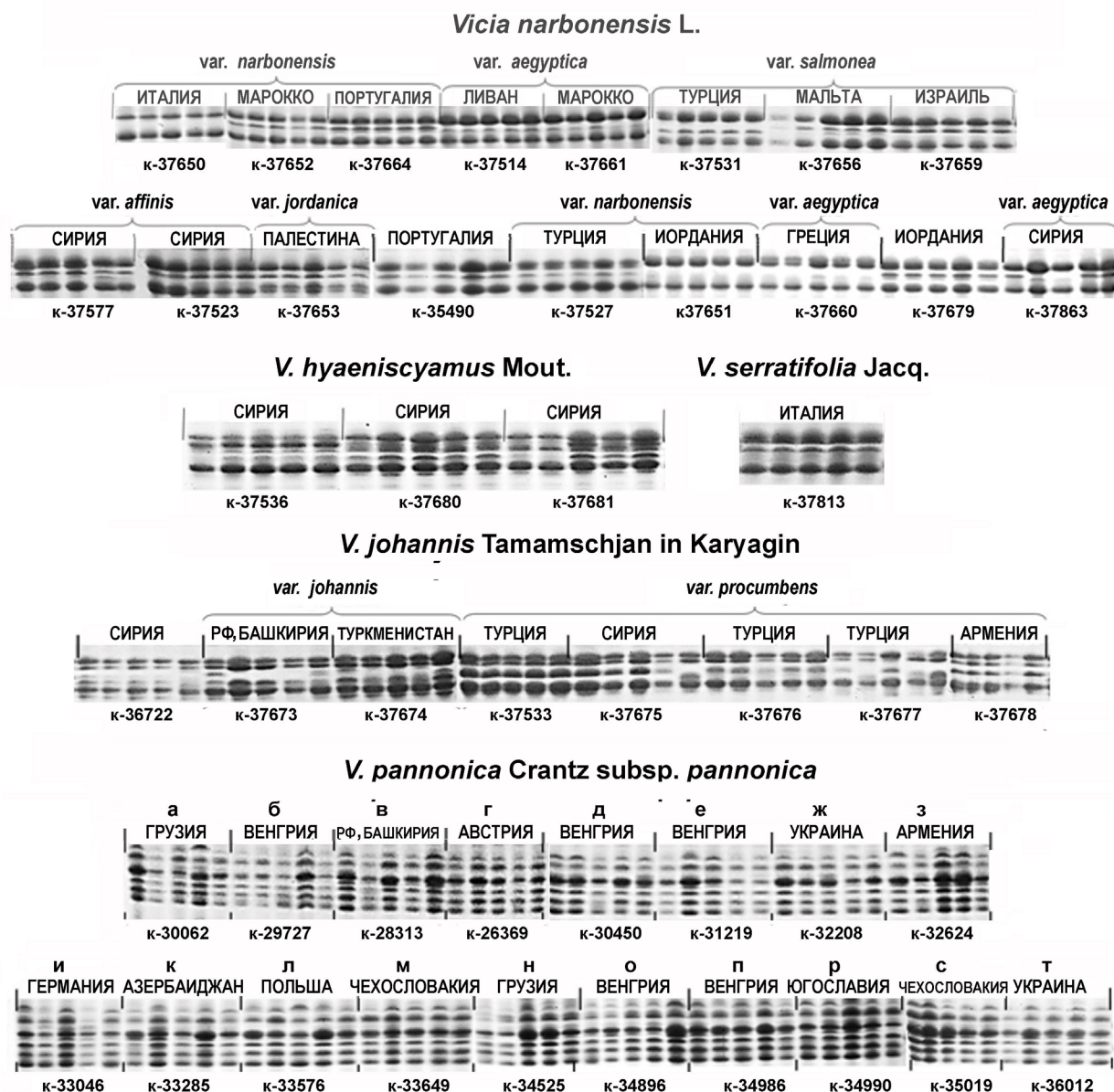


Рис. 4. Спектры основных полипептидов 11S глобулина изученных образцов (обр.) *Vicia* L.:

V. hyaeniscyamus Mout. – три обр., *V. narbonensis* L. – 17 обр., *V. serratifolia* Jack. – один обр., *V. johannis* Tamamschjan in Karyagin – восемь обр., *V. pannonica* Crantz – 18 обр. (названия образцов: а – сорт ‘Богдановская местная’, б – Pannonbükköny, в – Сорнополевая, г – сорт ‘Ангернская’, д – сорт ‘Beta’, е – Kiserleti gazdasag, ж – Венгерская, з – без названия (б/н), и – Anatolien, к – Сорнополевая, л – б/н, м – Chlumecka panonska, н – Грузинская, о – сорт ‘Maglodi’, п – сорт ‘Siofoki’, р – б/н, с – Pömbacher Toerring, т – сорт ‘Черноморская’)

Fig. 4. Banding patterns of the 11S globulin basic polypeptides of the studied *Vicia* L. accessions (accs.):

V. hyaeniscyamus Mout. – three accs., *V. narbonensis* L. – 17 accs., *V. serratifolia* Jack. – one acc., *V. johannis* Tamamschjan in Karyagin – eight accs., *V. pannonica* Crantz – 18 accs. (accession names: a – cv. ‘Bogdanovskaya local’, b – Pannonbükköny, c – Weedy, g – cv. ‘Angernskaya’, d – cv. ‘Beta’, e – Kiserleti gazdasag, f – Hungarian, h – no name (n/n), i – Anatolien, k – Weedy, l – (n/n), m – Chlumecka panonska, n – Georgian, o – cv. ‘Maglodi’, p – cv. ‘Siofoki’, r – (n/n), s – Pömbacher Toerring, t – cv. ‘Chernomorskaya’)

Проанализированные виды различаются по числу представленных образцов, что связано, с одной стороны, с малочисленностью образцов одних видов и, с другой стороны, с более широкой возможностью выборки в коллекции ВИР представителей других видов разного географического происхождения. Как отмечалось, из пяти видов, включенных в данное исследование, четыре принадлежат к близкородственным видам комплекса *V. narbonensis*. Внутривидовое разнообразие, входящих в состав *V. narbonensis* complex видов *V. narbonensis* и *V. johannis*, представлено на уровне разновидностей.

Как видно на рисунке 4, расположение основных полипептидов в спектрах в пределах вида остается неизменным, вне зависимости от происхождения образца и его принадлежности к внутривидовому таксону. Наблюдаемая небольшая внутривидовая вариабельность спектров связана с интенсивностью проявления отдельных компонентов, иногда до полного отсутствия, например, у образцов к-37650, к-37651 (*V. narbonensis* var. *narbonensis*) и к-37660 (*V. narbonensis* var. *aegyptica* Kornhuber ex Asch. & Schweinf.), что, возможно, связано с различными уровнями экспрессии кодирующих их генов, а так-

же с вероятным внутривидовым или внутрипопуляционным полиморфизмом по наличию/отсутствию отдельных компонентов как, например, у вида *V. hyaeniscyamus*, что позволяет предположить аллельную изменчивость соответствующих генов. Как говорилось выше, у видов, входящих в состав *V. narbonensis* complex, редко, но встречается перекрестное опыление, что может также служить одной из причин подобной слабой изменчивости, однако важно отметить, что она вполне укладывается в заключение о видовой специфичности спектра основных полипептидов легумина. Очевидно, что выявленная нами специфичность спектра данных полипептидов у видов комплекса *V. narbonensis* коррелирует с репродуктивной изоляцией последних (Enneking, Maxted, 1995). Это согласуется с полученными ранее данными о том, что компонентный состав отдельных групп белков, в частности, ингибиторов α -амилаз и протеаз может быть специфичен для видов или отдельных генотипов. Это показано на примере пшеницы и родственных ей злаков (Konarev V.G, 2000), а также вигны (Konarev et al., 2002). В то же время другие группы белков могут отражать изменчивость на сортовом или внутрипопуляционном уровне

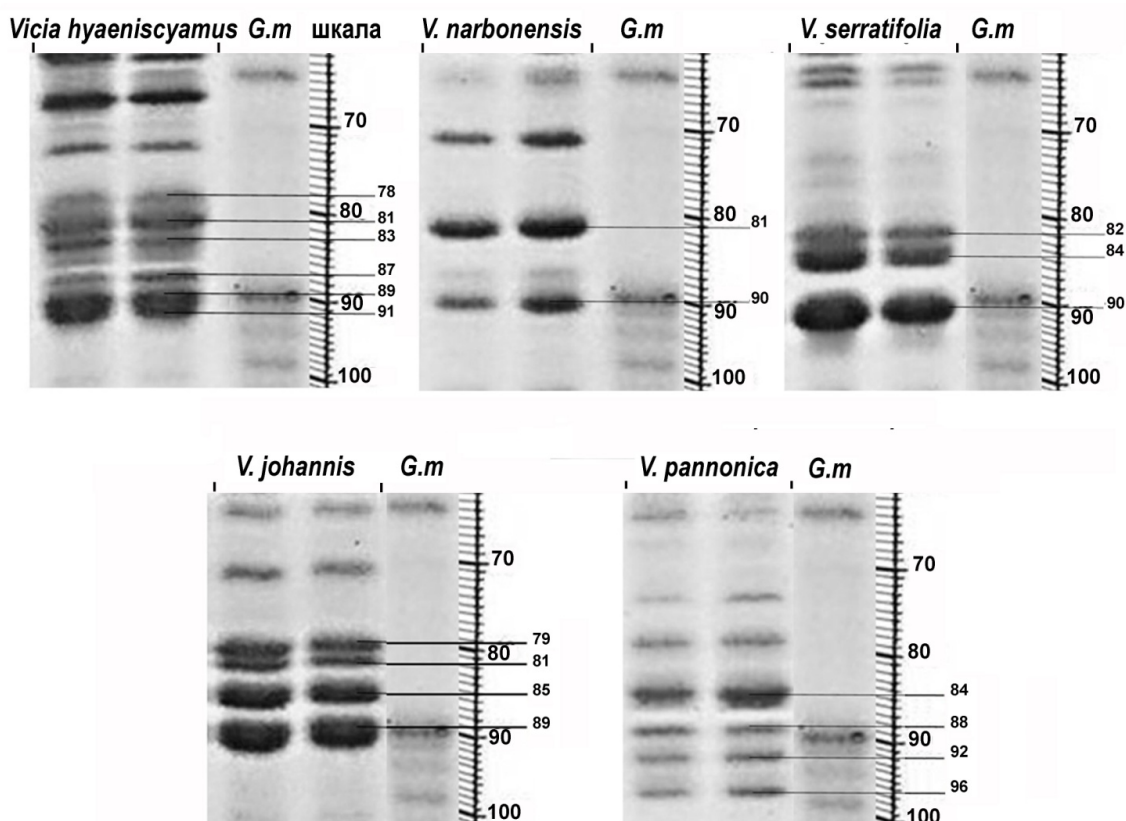


Рис. 5. Регистрация основных полипептидов 11S глобулина видов *Vicia* L. с помощью «соевой шкалы»
G.m – белки семян сои *Glycine max*, использованные в качестве контроля

Fig. 5. Registration of the 11S globulin basic polypeptides of *Vicia* L. species using the “soybean scale”
G.m – soybean *Glycine max* seed proteins used as a control

(Konarev A.I.V., 2000; Eggi, 2015; Eggi, Aleksandrova, 2019), причем это могут быть другие компоненты полных спектров белков семян, например вики, отличные от основных субъединиц IIS глобулина.

Многочисленные образцы сорнополевых и культурных форм *V. pannonica* различного географического происхождения демонстрируют практически полное однообразие по составу основных полипептидов легумина (см. рис. 4). То есть в пределах данного таксона отсутствует изменчивость по составу аллелей генов, кодирующих полипептиды. Характерное для *V. pannonica* преимущественно перекрестное опыление не повлияло на состав спектров. Результаты нашей предыдущей работы (Konarev et al., 2024) позволяют высказать предположение о специфичности спектров основных полипептидов легумина и для других видов секции *Hypechusa*, помимо *V. pannonica*. На рисунке 1 вышеупомянутой публикации (Konarev et al., 2024) приведены полные спектры белков семян нескольких видов данной секции, в которых, учитывая сведения из настоящей работы, можно иденти-

фицировать основные полипептиды легумина в соответствующей зоне спектров. По-видимому, состав данной группы компонентов специфичен и для отдельных видов секции *Bithynicae* (B. Fedtsch.) Maxted. и других групп видов вики, однако это предположение заслуживает более детального экспериментального подтверждения.

Позиции компонентов в спектрах можно легко зарегистрировать, например, используя разработанную ранее в ВИР последователями школы В.Г. Конарева «соевую шкалу» (рис. 5), основанную на неизменности полипептидного спектра культурной сои в пределах вида (Tarlakovskaya et al., 1990; Konarev A.I.V., 2000; Eggi, 2013; 2015; Mazin, Eggi, 2021). Шкала позволяет определять позиции компонентов анализируемого спектра белков независимо от степени их разгонки при электрофорезе.

«Белковые формулы» пяти проанализированных видов вики, как результат регистрации основных полипептидов IIS глобулина видов рода *Vicia*, представлены в таблице 2.

Таблица 2. «Белковые формулы» видов *Vicia* L.
Table 2. “Protein formulas” of *Vicia* L. species

Вид/ Species	№ основных полипептидов 11S глобулина по «соевой шкале»*/ No. of the basic polypeptides of 11S globulin according to the “soybean scale”*															«Белковая формула» вида/ “Protein formula” of the species
	78	79	81	82	83	84	85	87	88	89	90	91	92	96		
<i>Vicia hyaeniscyamus</i> Mout.	1		1		1			1		1		1			78, 81, 83, 87, 89, 91	
<i>V. narbonensis</i> L.			1								1				81, 90	
<i>V. serratifolia</i> Jacq.				1		1					1				82, 84, 90	
<i>V. johannis</i> Tamamschjan in Karyagin		1	1				1			1					79, 81, 85, 89	
<i>V. pannonica</i> Crantz						1			1				1	1	84, 88, 92, 96	

*интенсивные компоненты отмечены полужирным шрифтом/ *intense components are marked in bold

В результате регистрации основных полипептидов IIS глобулина по «соевой шкале», «белковые формулы» для пяти видов вики выглядят следующим образом: *V. hyaeniscyamus* – 78, **81**, 83, **87**, **89**, 91; *V. narbonensis* – **81**, **90**; *V. serratifolia* Jacq. – 82, **84**, **90**; *V. johannis* – 79, 81, **85**, **89**; *V. pannonica* – **84**, 88, 92, 96.

Закключение

Электрофоретические спектры основных полипептидов IIS глобулинов – легуминов семян, – могут быть использованы для простой и быстрой идентификации видов и регистрации образцов семян видов рода *Vicia* в коллекции ВИР и коллекциях других генбанков. Дан-

ный подход показал, в частности, свою эффективность на близкородственных и трудноразличимых по морфологическим признакам видах *V. narbonensis* complex, где специфичность состава указанной группы полипептидов коррелирует с репродуктивной изоляцией видов. Полученные данные указывают на применимость данного метода и в отношении представителей других секций рода *Vicia*, например, секции *Hypechusa*, в состав которой входит преимущественно перекрестноопыляемый вид *V. pannonica*. Так, на большой выборке образцов культурных и сорнополевых форм *V. pannonica* различного географического происхождения показана однородность по спектрам основных полипептидов легумина. Эта зона электрофоретического спектра легумина пригодна для

использования при видовой идентификации семян как самоопыляющихся, так и перекрестноопыляемых видов вики, и представляется перспективной в отношении других бобовых и иных двудольных культур, что заслуживает отдельного экспериментального подтверждения. Метод целесообразно применять на первых этапах анализа семенного материала для его видовой идентификации, а более детальную характеристику образцов в отношении, например, внутривидовой изменчивости или выяснения сортовой принадлежности семян можно проводить на основании изучения полного спектра белков семян, изоферментов, ингибиторов ферментов или с привлечением широкого арсенала методов анализа ДНК.

References/Литература

- Aleksandrova T. Vetches cultivated in the Russian Federation. In: *International congress on oil and protein crops. Abstract book; 2018 May 20-24; Chisinau, Republic of Moldova*. European Association for Research on Plant Breeding; Scientific Association of Geneticists and Breeders of the Republic of Moldova; 2018. p.59.
- Ali H.B., Osman S.A. Genetic relationship study of some *Vicia* species by FISH and total seed storage protein patterns. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 2020;18(1):37. DOI: 10.1186/s43141-020-00054-6
- Bechkri S., Medoukali L., Khelifi D. Ecogeographic variability and genetic diversity associated with seed albumins, globulins and prolamins patterns in *Vicia* taxa from Algeria. *Botanical Studies*. 2017;58:1-5. DOI: 10.1186/s40529-017-0177-7
- Bennett S.J., Maxted N. An ecogeographic analysis of the *Vicia narbonensis* complex. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 1997;44:411-428. DOI: 10.1023/A:1008688919569
- Bosmali I., Lagiotis G., Haider N., Osathanunkul M., Biliaderis C., Madesis P. DNA-based identification of Eurasian *Vicia* species using chloroplast and nuclear DNA barcodes. *Plants*. 2022;11(7):947. DOI: 10.3390/plants11070947
- Bouabid S., Jemai L., Zoghalmi Khélil A. Evaluation of the breeding system of two *Vicia narbonensis* L. accessions from East Mediterranean region. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. 2019;4:14. DOI: 10.1007/s41207-018-0095-4
- Breeding systems table. Available from: https://cropgenebank.sgrp.cgiar.org/images/file/forage_legumes/breeding%20systems%20table.pdf. [accessed Nov. 15, 2024].
- Cooke R.J. (ed.). Handbook of variety testing. Electrophoresis handbook: variety identification., Cambridge: Chemistry and QA Department, National Institute of Agricultural Botany; 1992. Available from: <https://www.seedtest.org/en/publications/handbooks.html> [accessed Nov. 15, 2024]
- Cooke R.J. Gel electrophoresis for the identification of plant varieties. *Journal of Chromatography A*. 1995;698(1-2):281-299. DOI: 10.1016/0021-9673(94)00649-T
- Dhull S.B., Kidwai M.K., Noor R., Chawla P., Rose P.K. A review of nutritional profile and processing of faba bean (*Vicia faba* L.). *Legume Science*. 2022;4(3):e129. DOI: 10.1002/leg3.129
- Eggi E.E. Identification of cultivars of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) using the electrophoretic profile of polypeptides in seed proteins: guidelines (Identifikatsiya sortov lyupina uzkoлистного (*Lupinus angustifolius* L.) s ispol'zovaniem elektroforeticheskogo spektra polipeptidov belkov semyan: metodicheskiye ukazaniya). I.P. Gavriljuk (ed). St. Petersburg: VIR; 2013. [in Russian] (Егги Э.Э. Идентификация сортов люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) с использованием электрофоретического спектра полипептидов белков семян: методические указания / под ред. И.П. Гаврилюк. Санкт-Петербург: ВИР; 2013).
- Eggi E.E. Electrophoresis of seed proteins for the cultivar identification of high polymorphing crops on the example of eastern galega (*Galega orientalis* Lam.). *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2015;(11):14-20. [in Russian] (Егги Э.Э. Электрофорез белков семян для сортовой идентификации высокополиморфных культур на примере козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.). *Аграрная Россия*. 2015;(11):14-20). DOI: 10.30906/1999-5636-2015-11-14-20
- Eggi E.E., Aleksandrova T.G. Determination of an unknown accession of common vetch for compliance with the variety Yubileina-aya 110 according to morphology and electrophoresis of seed protein. *Legumes and Groat Crops*. 2019;4(32):71-81. [in Russian] (Егги Э.Э., Александрова Т.Г. Определение соответствия неизвестного образца вики посевной сорту Юбилейная 110 по данным морфологии и электрофореза белков семян. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019;4(32):71-81). DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11135
- Eggi E.E., Aleksandrova T.G., Semenova E.V. The SDS electrophoresis method for monitoring and maintaining the purity of legume collections. In: *125 Years of Applied Botany in Russia: Book of abstracts of the Conference; 2019 November 25-28; St. Petersburg, Russia*. St. Petersburg: VIR; 2019. p.80. [in Russian] (Егги Э.Э., Александрова Т.Г., Семенова Е.В. Метод SDS электрофореза для мониторинга и сохранения чистоты коллекций бобовых культур. В кн.: *125 лет прикладной ботаники в России: сборник тезисов конференции; 25-28 ноября 2019 г.; Санкт-Петербург, Россия*. Санкт-Петербург: ВИР; 2019. С.80). URL: http://www.vir.nw.ru/wp-content/uploads/2019/11/Sbornik-tezisev_125-let-prikladnoj-botaniki-v-Rossii-2.pdf [дата обращения: 19.11.2024].
- El-Badan G.E., Amin A.W., Ashour F.M., El-Sadek L.M. Allele frequency and genetic diversity of some species of genus *Vicia* L. using SDS-PAGE technique. *Egyptian Journal of Botany*. 2021;61(2):491-511. DOI: 10.21608/ejbo.2021.47720.1579
- El-Badan G.E., Amin A.W., Ashour F.M., El Sadek L.M. Characterization of the genetic diversity of some species of genus *Vicia* using ISSR and ITS molecular techniques. *Egyptian Journal of Botany*. 2022;62(2):475-492. DOI: 10.21608/ejbo.2022.84745.1732
- Enneking D., Maxted N. Narbon bean: *Vicia narbonensis* L. (Leguminosae). *Evolution of Crop Plants*. 1995:316-21.
- Firincioglu H.K., Unal S., Dogruyol L. Phenotypic variation of *Vicia pannonica* Crantz (var. *pannonica* and var. *purpurascens*) in central Turkey. *Journal of Central European Agriculture*. 2011;12(1):82-91. DOI: 10.5513/JCEA01/12.1.882
- Gianfranco V., Ravalli C., Cremonini R. The karyotype as a tool to identify plant species: *Vicia* species belonging to *Vicia* subgenus. *Caryologia*. 2008;61(3):300-319. DOI: 10.1080/00087114.2008.10589642
- Han S., Sebastin R., Wang X., Lee K.J., Cho G.T., Hyun D.Y., Chung J.W. Identification of *Vicia* species native to South Korea using molecular and morphological characteristics. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:608559. DOI: 10.3389/fpls.2021.608559
- Hasan A.A., Haddad D.A., Ali L.M. The phylogenetic relationships between species of *Vicia* L. based on morphological characteristics and proteins present in seeds. *Asian Journal of Research in Botany*. 2023;6(2):225-232. Available from: <http://science.scpublishers.org/id/eprint/1656/1/Hasan622023AJRIB106921.pdf> [accessed Oct. 31, 2024].
- Heim U., Schubert R., Bäumlein H., Wobus U. The legumin gene family: structure and evolutionary implications of *Vicia faba* B-type genes and pseudogenes. *Plant Molecular Biology*. 1989;13:653-663. DOI: 10.1007/BF00016020
- Horstmann C., Schlesier B., Otto A., Kostka S., Müntz K. Polymorphism of legumin subunits from field bean (*Vicia faba* L. var. *minor*) and its relation to the corresponding multigene family. *Theoretical and Applied Genetics*. 1993;86:867-874. DOI: 10.1007/BF00212614
- Ibañez S., Medina M.I., Agostini E. *Vicia*: a green bridge to clean up polluted environments. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020;104:13-21. DOI: 10.1007/s00253-019-10222-5
- Ilieva A., Naidenova G. Phenotypic evaluation of variability in quality traits of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* ssp. *pannonica* Crantz) accessions. *Bulgarian Journal of Crop Science*. 2016;53(4):63-67.
- Interactive agricultural ecological atlas of Russia and neighboring countries. Available from: https://agroAtlas.ru/en/content/related/Vicia_pannonica/index.html [accessed Nov. 12, 2024].
- Khalid U., Waheed M.Q., Parveen N., Arif M.A.R., Arif A. Estima-

- tion of genetic diversity using seed storage protein (SSP) profiling in wild and cultivated species of *Cicer* L. *Molecular Biology Reports*. 2023;50(5):4175-4185. DOI: 10.1007/s11033-023-08358-9
- Khalik K.N.A., Al-Gohary I.H. Taxonomic relationships in some *Vicia* species from Egypt, based on seed morphology and SDS-PAGE of seed proteins. *Acta Scientiarum-Biological Sciences*. 2013;35(4):603-611. DOI: 10.4025/actasciobiolsci.v35i4.19345
- Konarev A.V., Tomooka N., Vaughan D.A. Proteinase inhibitor polymorphism in the genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis* and its biosystematic implications. *Euphytica*. 2002;123:165-177. DOI: 10.1023/A:1014920309710
- Konarev A.V. Insect and fungal enzyme inhibitors in study of variability, evolution and resistance of wheat and other *Triticeae* Dum. cereals. In: P.R. Shewry, A.S. Tatham (eds). *Wheat Gluten*. Cambridge: Royal Society of Chemistry; 2000. p.526-530. DOI: 10.1039/9781847552372-00526
- Konarev A.V., Eggi E.E., Aleksandrova T.G. Proteolytic degradation of seed proteins of vetch species (*Vicia* L. subgenus *Vicia*) of section *Peregrinae* Kupicha during SDS-electrophoresis and its prevention. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(3):5-18. [in Russian] (Конарев А.В., Егги Э.Э., Александрова Т.Г. Протеолитическая деградация белков семян видов вики (*Vicia* L. subgenus *Vicia*) секции *Peregrinae* Купича при SDS-электрофорезе и ее предотвращение. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(3):5-18). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-3-02
- Konarev V.G. (ed.). Identification of varieties and registration of the gene pool of cultivated plants based on seed proteins (Identifikatsiya sortov i registratsiya genofonda kul'turnykh rasteniy po belkam semyan). St. Petersburg: VIR; 2000. [in Russian] (Идентификация сортов и регистрация генофонда культурных растений по белкам семян / под ред. В.Г. Конарева. Санкт-Петербург: ВИР; 2000).
- Laemmli U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*. 1970;227(5259):680-685. DOI: 10.1038/227680a0
- Maxted N. A phenetic investigation of *Vicia* L. subgenus *Vicia* (Leguminosae, *Viciae*). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 1993;111(2):155-182. DOI: 10.1006/bojl.1993.1013
- Mazin A.M., Eggi E.E. Comparative evaluation of red clover genotypes with the "Pskovskiy mestnyy dvukosnyy" variety. *Fodder production*. 2021;6(16-21). [in Russian] (Мазин А.М., Егги Э.Э. Сравнительная оценка сортообразцов клевера лугового с оригиналом сорта Псковский местный двукошный. *Кормопроизводство*. 2021(6):16-21). DOI: 10.25685/KRM.2021.35.75.001
- McGregor S.E. Clover and some relatives. In: McGregor S.E. *Insect pollination for cultivated crop plants*. Chapter 3. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture; 1976. Available from: <https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/20220500/OnlinePollinationHandbook.pdf> [accessed Nov. 12, 2024].
- Mirali N. The use of SDS-PAGE seed protein variability within and among accessions to predict the mating system of some *Vicia* species. *Journal of Genetics and Breeding*. 2005;59(3/4):253.
- Potokina E.K.; Aleksandrova T.G. The pollination features in the annual species of the genus *Vicia*. (Osobennosti opyleniya u odnoletnikh vidov roda *Vicia* (Fabaceae)). *Botanical journal = Botanicheskii zhurnal*. 1996;81(1):74-79. [in Russian] (Потокина Е.К., Александрова Т.Г. Особенности опыления у однолетних видов рода *Vicia* (Fabaceae). *Ботанический журнал*. 1996;81(1):74-79).
- Potokina E., Endo Y., Eggi E., Ohashi H. Electrophoretic patterns of seed proteins in the East Asian *Vicia* species (Leguminosae) and their systematic utility. *Journal of Japanese Botany*. 2003;78(1):29-37.
- Salehi B., Abu-Reidah I.M., Sharopov F., Karazhan N., Sharifi-Rad J., Akram M., Daniyal M., Khan F.S., Abbaass W., Zainab R., Carbone K., Fahmy N.M., Al-Sayed E., El-Shazly M., Lucarini M., Durazzo A., Santini A., Martorell M., Pezzani R. *Vicia* plants – A comprehensive review on chemical composition and phytopharmacology. *Phytotherapy Research*. 2021;35(2):790-809. DOI: 10.1002/ptr.6863
- Shevkani K., Singh N., Chen Y., Kaur A., Yu L. Pulse proteins: Secondary structure, functionality and applications. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56:2787-2798. DOI: 10.1007/s13197-019-03723-8
- Shewry P.R., Napier J.A., Tatham A.S. Seed storage proteins: structures and biosynthesis. *The Plant Cell*. 1995;7(7):945-956. DOI: 10.1105/tpc.7.7.945
- Shutov A.D., Kakhovskaya I.A., Braun H., Bäumlein H., Müntz K. Legumin-like and vicilin-like seed storage proteins: evidence for a common single-domain ancestral gene. *Journal of Molecular Evolution*. 1995;41:1057-1069. DOI: 10.1007/BF00173187
- Tarlakovskaya A.M., Eggi E.E., Gavriluyk I.P. Belyaeva Zh.I. (comp.) Identification of pea varieties by electrophoresis of seed proteins: guidelines (Identifikatsiya sortov gorokha metodom elektroforeza belkov semyan: metodicheskiye ukazaniya). V.G. Konarev (ed.). Leningrad: VIR; 1990. [in Russian] (Идентификация сортов гороха методом электрофореза белков семян: методические указания / сост.: А.Н. Тарлаковская, Э.Э. Егги, И.П. Гаврилюк, Ж.И. Беляева ; под ред. В.Г. Конарева. Ленинград: ВИР; 1990).
- Tripathy S.K. Legume seed storage proteins – A review. *Advances in Bioresearch*. 2018;9(6):152-162. DOI: 10.15515/abr.0976-4585.9.6.152162
- Tucci M., Capparelli R., Costa A., Rao R. Molecular heterogeneity and genetics of *Vicia faba* seed storage proteins. *Theoretical and Applied Genetics*. 1991;81:50-58. DOI: 10.1007/BF00226111
- Vishnyakova M.A., Seferova I.V., Buravtseva T.V., Burlyayeva M.O., Semenova E.V., Filipenko G.I., Aleksandrova T.G., Egorova G.P., Yankov I.I., Bulyntsev S.V., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying: methodological guidelines. M.A. Vishnyakova (ed.). 2nd ed. St. Petersburg: VIR, 2018. [in Russian] (Вишнякова М.А., Сеферова И.В., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Филипенко Г.И., Александрова Т.Г., Егорова Г.П., Яньков И.И., Булынецов С.В., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: (методические указания). 2-е изд. / под ред. М.А. Вишняковой. Санкт-Петербург: ВИР; 2018).
- Warsame A.O., Michael N., O'Sullivan D.M., Tosi P. Seed development and protein accumulation patterns in faba bean (*Vicia faba*, L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2022;70(30):9295-9304. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c02061
- Zha F., Rao J., Chen B. Modification of pulse proteins for improved functionality and flavor profile: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2021;20(3):3036-3060. DOI: 10.1111/1541-4337.12736

Информация об авторах

Элли Эвартовна Егги, кандидат биологических наук, ведущий специалист, отдел биохимии и молекулярной биологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, zininaanna@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9554-4855>

Татьяна Геннадьевна Александрова, научный сотрудник, отдел генетических ресурсов зерновых бобовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, t.alexandrova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9152-4528>

Александр Васильевич Конарев, доктор биологических наук, главный специалист, лаборатория сельскохозяйственной энтомологии, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР), 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин,

ш. Подбельского, 3; ведущий специалист, отдел биохимии и молекулярной биологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, alv-konarev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5148-2850>

Information about the authors

Elly E. Eggi, Cand. Sci. (Biology), Leading Specialist, Department of Biochemistry and Molecular Biology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, zininaanna@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9554-4855>

Tatiana G. Aleksandrova, Researcher, Department of Leguminous Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, t.alexandrova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9152-4528>

Alexander V. Konarev, Dr. Sci. (Biology), Chief Specialist, Laboratory of Agricultural Entomology, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), 3, Podbelskogo Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608 Russia; Leading Specialist, Department of Biochemistry and Molecular Biology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, alv-konarev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5148-2850>

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 19.11.2024; одобрена после рецензирования 13.01.2025; принята к публикации 13.02.2025.

The article was submitted on 19.11.2024; approved after reviewing on 13.01.2025; accepted for publication on 13.02.2025.

Краткое сообщение

УДК 575.1:575.2:633

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-04



Биохимия культурных растений и мировая коллекция ВИР в разрезе вопросов здорового питания

А. В. Конарев

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

Автор, ответственный за переписку: Алексей Васильевич Конарев, secretary@vir.nw.ru

В последние годы ярко выражена приоритетность интересов общества и науки к вопросам обеспечения безопасным (здоровым или функциональным) питанием, сохранения складывавшихся веками региональных сред обитания человека с их спецификой пищевого обеспечения и площадями для регионально адаптированного сельскохозяйственного производства, защиты региональных диет от негативного влияния процессов глобализации. Исключительным потенциалом в решении этих стратегически важных проблем обладает наша страна в лице ВИР с его уникальной коллекцией, методическими наработками, приборной базой и высоко квалифицированными специалистами. Пионерские работы, развитие которых позволило обосновать в конце 20 века указанные выше тренды, были в нашей стране начаты в ВИР соратниками Н.И. Вавилова – основателем прикладной биохимии растений Н.Н. Ивановым, организовавшим в 1920-е годы исследования биологически активных соединений, и Г.Т. Селяниновым, сформулировавшим понятие «климатические аналоги» и организовавшим выработку рекомендаций по рациональному размещению в регионах страны сельскохозяйственных культур. Используемые в ВИР современные технологии аналитической биохимии в сочетании с классическими биохимическими методами сегодня повышают востребованность биохимически охарактеризованных образцов Вавиловской коллекции, в том числе для решения задач функционального питания и сохранения (восстановления) региональных сред обитания человека с их спецификой обеспечения продуктами питания и с ресурсами для регионально адаптированного сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: Н.И. Вавилов, Н.Н. Иванов, Г.Т. Селянинов, агроклиматическое районирование, биохимия культурных растений, здоровое питание, региональные диеты, регионально адаптированное сельское хозяйство, функциональное питание

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России.

Для цитирования: Конарев А.В. Биохимия культурных растений и мировая коллекция ВИР в разрезе вопросов здорового питания. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(1):46-52. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-04

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

© Конарев А.В., 2025

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o4

Biochemistry of cultivated plants and the global collection of VIR in the context of healthy nutrition issues

Alexey V. Konarev

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

Corresponding author: Alexey V. Konarev, secretary@vir.nw.ru

In recent years, the priority of the interest expressed by the society and scientific community to the issues of ensuring safe, healthy or functional, nutrition, preserving the regional human habitats which have developed over centuries with their specific food supply and areas for regionally adapted agricultural production, and protecting regional diets from the negative impact of globalization processes has been quite obvious. This country, represented by VIR with its unique collection, accumulated methodology, instrumental base and highly qualified specialists, has an exceptional potential for solving these strategically important problems. The pioneering works, which made it possible to substantiate the above trends at the end of the 20th century, were initiated and developed in this country at VIR by N.I. Vavilov's associates, namely by the founder of applied plant biochemistry N.N. Ivanov, who organized research into biologically active compounds in the 1920s, and G.T. Selyaninov, who formulated the concept of "climatic analogs" and organized the development of recommendations for the rational placement of agricultural crops in the regions of the country. The modern technologies of analytical biochemistry currently used at VIR in combination with classical biochemical methods increase the demand for the biochemically characterized accessions of the Vavilov collection, in particular for solving problems of functional nutrition and preserving (restoring) regional human habitats with their specific provision of food products and resources for regionally adapted agricultural production.

Keywords: N.I. Vavilov, N.N. Ivanov, G.T. Selyaninov, agroclimatic regional adaptation, biochemistry of cultivated plants, healthy nutrition, regional diets, regionally adapted agriculture, functional nutrition

Acknowledgements: This work was performed within the framework of the Program of Development of the National Center for Plant Genetic Resources supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Konarev A.V. Biochemistry of cultivated plants and the global collection of VIR in the context of healthy nutrition issues. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(1):46-52. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o4

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

© Konarev A.V., 2025

Труды великих и больших умов полны прозрениями. Таковы «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости» (Vavilov, 1920; 1922), «Линнеевский вид как система» (Vavilov, 1931), «Селекция как наука» (Vavilov, 1934) и другие труды Николая Ивановича Вавилова. То же справедливо и для большинства работ его знаменитых соратников.

Первый том издания «Теоретические основы селекции», вышедшего в 1935 году под редакцией Н.И. Вавилова (Vavilov, 1935) – труд, непревзойденный по широте охвата и глубине понимания важнейших научных проблем селекции как исходного, так и селекционного материала. Свидетельством высокого теоретического и методического уровней биохимических исследований в ВИР является глава «Биохимические основы селекции растений» данного издания, подготовленная Николаем Николаевичем Ивановым (Ivanov, 1935a). В этом разделе перед читателем предстает глубокое, опережающее свое время, видение автором ключевой роли биохимии в комплексном изучении и эффективном использовании генетических ресурсов растений в будущем, в частности, для создания новых сортов сельскохозяйственных культур.

Девяносто лет назад Н.Н. Иванов был уверен в необходимости развития фундаментальных исследований биологически активных соединений (биологически активных веществ, БАВ) не только как важнейших показателей ценности исходного материала для приоритетной, по его мнению, селекции на признаки качества, но и с целью выяснения биохимических механизмов реализации селекционных признаков. Академик В.А. Энгельгардт определяет последнее направление как «функциональная» биохимия или как «химическое толкование природы физиологических функций» (Engelhardt, 1959). В своем письме А.И. Ермакову академик В.А. Энгельгардт, высоко оценивая достижения биохимиков ВИР в области развития методов исследований, особо отмечал уникальность стоящих перед ними задач (Konarev, 2006).

В конце 1920-х годов в ВИР активно работала организованная Н.Н. Ивановым уникальная по тем временам «Витаминная лаборатория». Один из старейших корифеев отдела биохимии ВИР, известный биохимик, агрохимик М.И. Княгиничев в некрологе на смерть Н.Н. Иванова пишет: «Н. Н. можно считать пионером витаминологии у нас в Союзе, ибо такого размаха работ по исследованию растений на содержание витаминов, до создания им в 1932 г. витаминной лаборатории, не было. Следует отметить, что эти работы дали возможность выявить и рекомендовать сельскохозяйственному производству высоковитаминные сорта капусты, томатов, картофеля, моркови, черной смородины, яблок и т.п. Витаминной лабораторией было обнаружено исключительно высокое содержание противояснотного витамина (до 14% на сухой вес мякоти) в шиповнике, который, благодаря этому, используется сейчас пищевой промышленностью в качестве основного сырья для снабжения населения Союза этим витамином» (Knjaginicev, 1941). Под руководством Н.Н. Иванова

изданы тома «Биохимии культурных растений» (Iwanoff, 1936-1940), выпуски по частной биохимии сельскохозяйственных культур, а также «Методы биохимии и физиологии растений», выдержавшей за период 1930-1946 годов четыре издания, последнее прижизненное издание вышло в 1935 году (Ivanov, 1935b).

Спустя почти 70 лет после организации пионерских работ под руководством Н.Н. Иванова по исследованию БАВ одним из итогов 26-го Международного конгресса по овощеводству и плодоводству (Канада, Торонто, август 2002 года) явилось признание приоритетной в 21-м веке селекции с акцентом на биологически активные вещества (Horticulture..., 2004). Данное решение – признание социальной важности проблемы здорового питания, которую невозможно решать без знания биохимии сельскохозяйственных культур и продуктов питания. Зарубежные специалисты имели возможность убедиться в высоком научно-методическом уровне «Биохимии культурных растений», изданной в ВИР в 30-е – 60-е годы прошлого столетия. Начало было положено Н.И. Вавиловым, который смог в 1922 году получить от правительства средства на закупку современных для того времени приборов и оборудования для организации исследований по биохимии и технологической оценке сельскохозяйственных культур. Совершенная приборная база, в купе с талантами Н.Н. Иванова и его соратников, обеспечили успехи в развитии биохимических исследований культурных растений в ВИР.

Последние три десятилетия «вектор интереса» общества и науки стабильно указывает на приоритетность проблемы здоровья и тесно связанных с ней вопросов обеспечения безопасным (здоровым или функциональным) питанием, сохранения складывавшихся веками региональных сред обитания человека с их спецификой пищевого обеспечения и площадями для регионально адаптированного сельскохозяйственного производства, защиты региональных диет от негативного влияния процессов глобализации (Krasilnikov, 2015; Konarev et al., 2019; Beuchat, 2004). В иерархии значимости факторов, обеспечивающих организацию и защиту здорового питания, биологической системе «среда обитания» отводится важная, если не определяющая роль (Konarev et al., 2019).

Исключительный потенциал ВИР с его мировой коллекцией, методическими и теоретическими наработками и специалистами дает нашей стране огромное преимущество в успешной реализации описанного выше востребованного обществом тренда. В условиях, когда биохимические исследования в ВИР шагнули за вековой рубеж, именно в русле этого тренда намечаются приоритетные направления исследований в Институте и, в том числе, в его отделе биохимии, который на современном этапе, благодаря усовершенствованию в последние годы приборной базы, перешел на качественно новый методический уровень исследований в области биохимии культурных растений. Биохимические признаки качества продукции растениеводства, исходного и селекционно-

го материала все больше анализируются с применением современной аналитической техники – хроматографии с масс-спектрометрией. Информация о составе и содержании максимально возможного числа соединений (метаболитов), закономерностях их изменчивости в онтогенезе, в ходе селекции и под влиянием факторов среды являются необходимыми условиями для развития современной селекции, а также диетологии, пищевой промышленности и собственно здорового питания. Эти направления сегодня динамично развиваются в отделе биохимии ВИР (Tikhonova, Shelenga, 2019; Shelenga et al., 2020; Gavrilova et al., 2020; Kon'kova et al. 2021; Loskutov et al., 2022; Malysheva et al., 2023; Perchuk et al., 2020).

Современные технологии аналитической биохимии в сочетании с классическими биохимическими методами – залог повышенной востребованности биохимически охарактеризованных образцов коллекции, в том числе и для обозначенной выше задачи сохранения (восстановления) региональных сред обитания человека с их спецификой обеспечения продуктами питания и с их площадями для развития регионально адаптированного сельскохозяйственного производства. В регионах сформировались в процессе эволюции различные типы популяций растений, обладающих метаболизмом, адаптированным к погодно-климатическим условиям, к специфическим диапазонам изменчивости стрессовых факторов. К такому составу метаболитов соответственно «коадаптировались» рационы и метаболизм человека и животных. У растений и животных, живущих в контрастных по климату регионах, наблюдаются различия по метаболизму и химическому составу тканей. Знания фундаментальных законов эволюции: взаимообусловленных этапов естественных микроэволюционных событий, адекватной реакции популяции на изменившиеся условия среды в виде динамики генотипического состава или генотипических изменений – важны для защиты биологических систем (Allard, 1997; Konarev, 2002).

На более раннем этапе эти идеи развивались в работе «Климатическая теория образования органических веществ» С.Л. Ивановым (Ivanov, 1961), которая принесла автору мировую известность. Особенное значение «Климатическая теория» имеет для районирования различных культур, являющегося одним из важнейших резервов повышения продуктивности сельскохозяйственного производства и качества растениеводческой продукции.

Сотрудником ВИР Г.Т. Селяниновым и его школой сформулировано понятие «агроклиматические аналоги» (Selyaninov, 1928; 1934) и даны рекомендации по рациональному размещению сельскохозяйственных культур для большинства регионов страны; определена основная причина огромных потерь растениеводческой продукции – волюнтаризм в подходах к вопросам размещения сортов и культур. «Неадаптированность» культур и сортов к региону, а именно к погодно-климатическим, эдафическим, микробиологическим факторам, на первом этапе приводит к разрушению их адаптивных генных

комплексов или мультилокусных ассоциаций (Altukhov, 1983; Allard, 1997; Konarev, 2002), что приводит к потере устойчивости, снижению продуктивности. Контроль за адаптивными процессами в популяциях с использованием доказанной во многих работах (Konarev, 1983; Allard, 1997; Pérez de la Vega, 1996, 1997; Pomortsev et al., 1996; Konarev, 2002; Konarev A.I. et al., 2014) адаптивной значимости полиморфизма изоферментов, запасных белков, ДНК-маркеров, повысил достоверность и информативность оценки степени и направления микроэволюционных процессов в популяциях под влиянием изменений условий среды.

Веками складывалось так, что набор необходимых человеку метаболитов обеспечивался в большинстве регионов местным растительным разнообразием. Коллекция ВИР может расширить возможности восстановления без вреда для здоровья населения компонентов, недостающих по причине природных или социальных деструктивных процессов. Последние возникают, как правило, от привнесения из других регионов сельскохозяйственной продукции, отличной по составу и содержанию компонентов питания и с нетипичной патогенной микрофлорой (Beuchat, 2004). Для ряда проблемных регионов планеты дефицит по функционально важным компонентам питания может принимать характер социальных катастроф. Отсутствие в рационе витамина В₁ явилось причиной массовых заболеваний в странах Юго-Восточной Азии (Lanska, 2010). Есть основание рассматривать «феномен острого дефицита этого ключевого компонента БАВ» в качестве фактора эволюции.

Потенциал многих культур – источников необходимых человеку метаболитов – остается недооцененным. Примеры из практики последнего времени: люпин белый (*Lupinus albus* L.) – культура, уникальный пищевой и технологический потенциал которой как альтернативы соевой муке, не используется (Krasilnikov, 2015). Или еще более яркий пример – рыжик (*Camelina sativa* L.), потенциал которого используется не в полной мере. Масло рыжика в пищевом отношении ценится очень высоко, поскольку содержит полиненасыщенные жирные кислоты Омега-3 и Омега-6 (Kon'kova, 2016). Рыжик возделывается в Сибири, на Среднем Урале, в Поволжье, в ряде европейских стран, Канаде и Европе. В Коллекции ВИР более 300 сортов и образцов рыжика, характеристика которых по содержанию белка и масла (Kon'kova, Shelenga, 2019) поможет отобрать исходный материал для использования в селекции. Интерес представляют и другие культуры, в том числе малораспространенные, разнообразие которых представлено в Коллекции ВИР (Nizova, Kon'kova, 2008). Приведенные примеры – свидетельство исключительного потенциала ВИР, его Коллекции и специалистов в решении стратегически важных проблем здорового питания: защита региональных и индивидуальных диет путем восстановления набора функций биологических систем, региональных сред обитания человека (Krasilnikov, 2015; Konarev et al., 2019).

Можно утверждать, что в ВИР были созданы условия для реализации национальной государственной программы агроклиматического районирования сортов и культур. Сотрудники ВИР владеют информацией о сортименте культур и их характеристиках, климатических и территориальных «предпочтениях» сортов, имеют опыт работы с разнообразием культур. Пионерские исследования, а также опыт в организации системы экологических испытаний образцов коллекции (Konarev, 1994), заложившие теоретическую основу практического агроклиматического районирования, и опыт в классификации сортов сельскохозяйственных культур по агроклиматическому принципу также принадлежат ВИР.

Следует отметить, что игнорирование вопросов агроклиматического районирования сортов, а также несоблюдение агротехнических приемов являются важнейшими причинами снижения эффективности растениеводства. При этом, безусловно, вопросы здорового питания, лечебного, профессионального, проблема защиты региональных диет – всё это должно решаться на фоне доведенного до совершенства процесса агропроизводства в растениеводстве.

Одновременно нельзя оставить без внимания и такую актуальную тему как последствия внедрения зарубежных производителей во внутренний Российский процесс продовольственного обеспечения. Сейчас мало кто сомневается в необходимости защитить продовольственную независимость страны, национальные диеты от зарубежной экспансии. Противостоять этому крайне трудно в свете бесплатных новых агротехнологий с семенным обеспечением и других маркетинговых подходов транснациональных компаний, которым трудно отказать в высоком уровне организации агропроизводства и искусстве конкурентной борьбы за рынки сбыта.

Тема зависимости здоровья человека от организации и качества питания в последние десятилетия стала особенно актуальной и активно обсуждаемой. Исключительным потенциалом в решении стратегически важных проблем здорового питания, защиты региональных и индивидуальных диет путем восстановления набора функций биологических систем обладает наша страна в лице ВИР с его уникальной Коллекцией, методическими наработками, приборной базой и высоко квалифицированными специалистами.

References/Литература

- Allard R.W. Genetic basis of the evolution of adaptedness in plants. In: P.M.A. Tigerstedt (eds). *Adaptation in Plant Breeding. Developments in Plant Breeding*. Dordrecht: Springer; 1997. Vol. 4. p.1-11. DOI: 10.1007/978-94-015-8806-5_1
- Altukhov Yu.P. Genetic processes in populations. Moscow: Nauka; 1983. [in Russian] (Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях Москва: Наука; 1983).
- Beuchat L.R. Difficulties in eliminating human pathogenic microorganisms on raw fruits and vegetables. *Acta Horticulturae*. 2004;642:151-160. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.642.17
- Engelhardt V.A. Some problems of modern biochemistry: Report at the VIII Mendeleev Congress of General and Applied Chemistry (Nekotorye problemy sovremennoj biokhimii: Doklad na VIII Mendelevskom s'ezde po obshchej i prikladnoj khimii). Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1959. [in Russian] (Энгельгардт В.А. Некоторые проблемы современной биохимии: Доклад на VIII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии. Москва: Изд-во Академии наук СССР; 1959).
- GavriloVA V., Shelenga T., Porokhovina E., Dubovskaya A., Kon'kova N., Grigoryev S., Podolnaya L., Konarev A., Yakusheva T., Kishlyan N., Pavlov A., Brutch N. The diversity of fatty acid composition in traditional and rare oil crops cultivated in Russia. *Biological Communications*. 2020;65(1):68-81. DOI: 10.21638/spbu03.2020.106
- Horticulture: Art and Science for Life: the colloquia presentations: a proceedings of the XXVI International Horticultural Congress. Vol. 1; 2002 August 11-17; Toronto, Canada. Leuven, Belgium; 2004.
- Ivanov N.N. Biochemical bases of plant breeding (Biokhimicheskiye osnovy selektsii rasteniy). In: *Theoretical bases of plant breeding*. Moscow; Leningrad: State Agricultural Publishing House; 1935a. Vol. 1. p.991-1016. [in Russian] (Иванов Н.Н. Биохимические основы селекции растений. В кн.: *Теоретические основы селекции растений*. Москва; Ленинград: Государственное издательство сельскохозяйственной совхозной и колхозной литературы; 1935a. Т. 1. С.991-1016).
- Ivanov N.N. Methods of physiology and biochemistry of plants (Metody fiziologii i biokhimii rasteniy). 3rd ed., corr. and suppl. Leningrad; 1935b. [in Russian] (Иванов Н.Н. Методы физиологии и биохимии растений. 3-е изд., испр. и доп. Ленинград; 1935b).
- Ivanov S.L. Climatic theory of the formation of organic substances (Klimaticheskaya teoriya obrazovaniya organicheskikh veshchestv). Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1961. [in Russian] (Иванов С.Л. Климатическая теория образования органических веществ. Москва: Изд-во Академии наук СССР; 1961).
- Iwanoff N.N. (editor-in-chief). Biochemistry of cultivated plants. Vol. 1-7. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1936-1940. [in Russian] (Биохимия культурных растений. Т. 1-7/ под общ. ред. Н.Н. Иванова. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1936-1940).
- Knjaginicev M.I. In memoriam N.N. Ivanov. *Priroda*. 1941;(4):112-115. (Княгиничев М.И. Памяти профессора Н.И. Иванова. *Природа*. 1941;(4):112-115).
- Konarev A.V. Adaptive nature of molecular polymorphism and its use in solving problems of plant genetic resources and breeding. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2002;(3):4-11. [in Russian] (Конарев А.В. Адаптивный характер молекулярного полиморфизма и его использование в решении проблем генетических ресурсов растений и селекции. *Аграрная Россия*. 2002;(3):4-11). DOI: 10.30906/1999-5636-2002-3-4-11
- Konarev A.V. Development of biochemical and molecular biological studies of the worldwide plant genetic diversity at the Vavilov Institute (VIR) (Razvitiye biokhimicheskikh i molekulyarno-biologicheskikh issledovaniy mirovogo genofonda rasteniy v VIR im. N.I. Vavilova). *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2006;(6):2-3. [in Russian] (Конарев А.В. Развитие биохимических и молекулярно-биологических исследований мирового генофонда растений в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Аграрная Россия*. 2006;(6):2-3).
- Konarev A.V. The N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Industry marks its centenary (Vserossiyskomu institutu rasteniyevodstva imeni N.I. Vavilova 100 let). St. Petersburg: VIR; 1994. [in Russian] (Конарев А.В. Всероссийскому институту растениеводства имени Н.И. Вавилова 100 лет. Санкт-Петербург: ВИР; 1994).
- Konarev A.V., Dolgikh V.V., Senderski I.V., Nefedova L.I., Konarev A.V., Gubareva N.K. Properties of natural and recombinant Sunn pest (*Eurygaster integriceps*) salivary gland proteinases hydrolyzing wheat gluten. *Plant Protection News*. 2014;(2):3-16. [in Russian] (Конарев А.В., Долгих В.В., Сендерский И.В., Нефедова Л.И., Конарев А.В., Губарева Н.К. Свойства нативных и рекомбинантных протеиназ слюнных желез клопа вредная черепашка

- (*Eurygaster integriceps* Put.), гидролизующих клейковину пшеницы. *Вестник защиты растений*. 2014;(2):3-16).
- Konarev A.V., Loskutov I.G., Shelenga T.V., Horeva V.I., Konarev A.I.V. Plant genetic resources as an inexhaustible source of healthy food products. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2019;(2):38-48. [in Russian] (Конарева А.В., Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Хорева В.И., Конарева А.И.В. Генетические ресурсы растений – неисчерпаемый источник продуктов здорового питания. *Аграрная Россия*. 2019;(2):38-48). DOI: 10.30906/1999-5636-2019-2-38-48
- Konarev V.G. Plant proteins as genetic markers (Belki rastenii kak geneticheskie markery). Moscow: Kolos, 1983. [in Russian] (Конарева В.Г. Белки растений как генетические маркеры. Москва: Колос; 1983).
- Kon'kova N.G. Using the gene pool of false flax from the VIR collection in contemporary breeding (Ispolzovaniye genofonda ryzhika maslichnogo iz kolektsii VIR v sovremennoy selektsii). *Ptitsyeprom = Poultry Production*. 2016;(S):38-39. [in Russian] (Конькова Н.Г. Использование генофонда рыжика масличного из коллекции ВИР в современной селекции. *Птицепром*. 2016;(S):38-39).
- Kon'kova N.G., Shelenga T.V. Catalogue of the VIR global collection. Issue 886. *Camelina (Camelina sativa (L.) Crantz): Description of accessions according to oil and protein content in seeds*. A.V. Konarev (ed.). St. Petersburg: VIR; 2019). [in Russian] (Конькова Н.Г., Шеленга Т.В. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 886. *Рыжик (Camelina sativa (L.) Crantz): Характеристика образцов по содержанию масла и белка в семенах/ под ред. А.В. Конарева*. Санкт-Петербург: ВИР; 2019).
- Kon'kova N.G., Shelenga T.V., Gridnev G.A., Dubovskaya A.G., Malyshev L.L. Stability and variability of *Camelina sativa* (L.) Crantz economically valuable traits in various eco-geographical conditions of the Russian Federation. *Agronomy*. 2021;11(2):332. DOI: 10.3390/agronomy11020332
- Krasilnikov V.N. Current trends in the use of plant genetic resources in food engineering of products of functional and specialized assignment. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2015;(11):36-42. [in Russian] (Красильников В.Н. Актуальные направления использования генетических ресурсов растений в пищевой инженерии продуктов функционального и специализированного назначения. *Аграрная Россия*. 2015;(11):36-42). DOI: 10.30906/1999-5636-2015-11-36-42
- Lanska D.J. Chapter 30: historical aspects of the major neurological vitamin deficiency disorders: the water-soluble B vitamins. *Handbook of Clinical Neurology*. 2010;95:445-476. DOI: 10.1016/S0072-9752(08)02130-1
- Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Khoreva V.I., Kerv Yu.A., Blinova E.V., Gnuitkov A.A., Rodionov A.V., Malyshev L.L. Assessment of oat varieties with different levels of breeding refinement from the Vavilov Institute's collection applying the method of metabolomic profiling. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(1):104-117. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-104-117
- Malysheva N.Yu., Shelenga T.V., Solovyeva A.E., Nagiev T.B., Kovaleva N.V., Malyshev L.L. Metabolomic approach to investigate *Dactylis glomerata* L. from the VIR collection. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;27(2):111-118. DOI: 10.18699/VJGB-23-16
- Nizova G.K., Kon'kova N.G. (comp.). Catalogue of the VIR global collection. Issue 783. Rare oil crops: colewort, hare's ear mustard, sea kale, cuphea, dragon's head, tarweed, spurge, noog, perilla, safflower, oilseed radish, false flax, and chufa: (characteristics of accessions according to biochemical traits) (Malorasprostrannyye maslichnye kul'tury: indau, konringiya, krambe, kufeya, lyallemantsiya, madiya, molochay, nug, perilla, safflor, redka maslichnaya, ryzhik, chufa: (kharakteristika obraztsov po biokhimicheskim priznakam)). A.V. Konarev (ed.). St. Petersburg: VIR; 2008. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 783. Малораспространенные масличные культуры: индау, конрингия, крамбе, куфея, ляллеманция, мадия, молочай, нуг, перилла, сафлор, редька масличная, рыжик, чуфа: (характеристика образцов по биохимическим признакам)/ сост.: Г.К. Низова, Н.Г. Конькова ; под ред. А.В. Конарева. Санкт-Петербург: ВИР; 2008).
- Perchuk I.N., Shelenga T.V., Gurkina M.V., Miroschnichenko E.V., Burlyayeva M.O. composition of primary and secondary metabolite compounds in seeds and pods of Asparagus bean (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) from China. *Molecules*. 2020;25(17):3778. DOI: 10.3390/molecules25173778
- Pérez de la Vega M. Plant genetic adaptedness to climatic and edaphic environment. *Euphytica*. 1996;92:27-38. DOI: 10.1007/BF00022825
- Pérez de la Vega M. Plant genetic adaptedness to climatic and edaphic environment. In: P.M.A. Tigerstedt (eds). *Adaptation in Plant Breeding. Developments in Plant Breeding*. Dordrecht: Springer; 1997. Vol. 4. p.27-38. DOI: 10.1007/978-94-015-8806-5_4
- Pomortsev A.A., Kalabushkin B.A., Blank M.L., Bakhronov A. Investigation of natural selection in artificial hybrid populations of spring barley. *Russian Journal of Genetics*. 1996;32(11):1333-1341. [in Russian] (Поморцев А.А., Калабушкин Б.А., Бланк М.Л., Бахронов А. Изучение естественного отбора в искусственных гибридных популяциях ярового ячменя. *Генетика*. 1996;32(11):1536-1544).
- Selyaninov G. Climatic analogues of the Black-Sea coast of the Caucasus. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1928;21(2):53-64. [in Russian] (Селянинов Г. Климатические аналоги Черноморского побережья Кавказа (Зап. Закавказья). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1928;21(2):53-64).
- Selyaninov G.T. Agroclimatic zones of the USSR. In: *Proceedings of the First All-Union Geographical Congress; 1933 April 11-18*. Leningrad; 1934. Vol. 3. p.38-64. (Селянинов Г.Т. Агроклиматические зоны СССР. В кн.: *Труды Первого Всесоюзного географического съезда; 11-18 апреля 1933 г.* Ленинград; 1934. Вып. 3. С.38-64).
- Shelenga T.V., Malyshev L.L., Kerv Yu.A., Diubenko T.V., Konarev A.V., Horeva V.I., Belousova M.K., Kolesova M.A., Chikida N.N. Metabolomic approach to search for fungal resistant forms of *Aegilops tauschii* Coss. from the VIR collection. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(3):252-258. [in Russian] (Шеленга Т.В., Малышев Л.Л., Керв Ю.А., Дюбенко Т.В., Конарева А.В., Хорева В.И., Белоусова М.Х., Колесова М.А., Чикида Н.Н. Использование метаболомного подхода для поиска форм *Aegilops tauschii* Coss. из коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова, устойчивых к грибным патогенам. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;24(3):252-258). DOI: 10.18699/VJ20.618
- Tikhonova O.A., Shelenga T.V. Bioactive substances of black currant berries in the conditions of Northwestern Russia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(3):50-58. [in Russian] (Тихонова О.А., Шеленга Т.В. Биологически активные вещества ягод черной смородины в условиях Северо-Запада России. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(3):50-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58
- Vavilov N.I. The law of homological series in hereditary variation: (Report at the 3rd All-Russian Breeding Congress in Saratov, June 4, 1920 (Zakon gomologicheskikh ryadov v nasledstvennoy izmenchivosti: doklad na 3-yem Vserossiyskom selektsionnom syezde v g. Saratove 4 iyunya 1920 g.). Saratov; 1920. [in Russian] (Вавилов Н.И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости: Доклад на 3-ем Всероссийском селекционном съезде в г. Саратове 4 июня 1920 г. Саратов; 1920).
- Vavilov N.I. The law of homological series in hereditary variation. *Journal of Genetics*. 1922;12(1):47-89. DOI: 10.1007/BF02983073
- Vavilov N.I. The Linnean species as a system. In: *Fifth International botanical congrtss: report of proceedings; 1930 August 16-23; Cambridge*. Cambridge: University press; 1931. p.213-216.
- Vavilov N.I. Selection as a science (Selektsiya kak nauka). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1934. [in Russian] (Вавилов Н.И. Селекция как наука. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1934).
- Vavilov N.I. (editor-in-chief). Theoretical bases of plant breeding. Vol. 1. Moscow; Leningrad: State Agricultural Publishing House; 1935. [in Russian] (Теоретические основы селекции растений.

Информация об авторах

Алексей Васильевич Конарев, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, secretary@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2938-1014>

Information about the authors

Alexey V. Konarev, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, secretary@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2938-1014>

Вклад автора: автор сделал самостоятельный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the author: the author contributed independently to this article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 13.09.2024; одобрена после рецензирования 05.03.2025; принята к публикации 19.03.2025.

The article was submitted on 13.09.2024; approved after reviewing on 05.03.2025; accepted for publication on 19.03.2025.

Краткое сообщение

УДК 575.1:575.2:633

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-05



Об итогах конференции «ВИР – 130: генетические ресурсы растений» (5-9 ноября 2024 г., Санкт-Петербург)

Е. К. Хлесткина, Ю. В. Ухатова, И. Г. Лоскутов, М. А. Вишнякова, Т. А. Гавриленко, Е. Е. Радченко, Е. В. Зуев,
Т. В. Шеленга, А. А. Леншин, Л. Ю. Шипилина, Н. А. Швачко, И. Г. Чухина, И. В. Котелкина

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

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

8 ноября (27 октября по старому стилю) 1894 года при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской империи было создано Бюро по прикладной ботанике. Бюро – правопреемник ВИР, института с мировым именем, директором-организатором которого стал наш знаменитый соотечественник Николай Иванович Вавилов. Именно с Бюро по прикладной ботанике началось научное-технологическое создание и обеспечение продовольственного щита нашей страны – знаменитой Вавиловской коллекции генетических ресурсов культурных растений. Этому событию приурочена конференция «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений», состоявшаяся 5-9 ноября 2024 года в Санкт-Петербурге. Конференция явилась платформой для обсуждения самых актуальных сегодня вопросов сохранения генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей – от необходимости подготовки новых нормативных актов федерального уровня до успехов в отечественной селекции различных культур и усиления роли генетики в обеспечении продовольственной и технологической безопасности России. Конференция объединила серию из 10 мероприятий и круглых столов, призванных осветить всю широту современных направлений работы с коллекциями генетических ресурсов растений и их применения в фундаментальной науке, сельском хозяйстве, медицине, промышленности. Отдельные мероприятия были посвящены выдающимся исследователям растений – соратникам Н.И. Вавилова: Г.Д. Карпеченко, Н.Н. Иванову, А.И. Мальцеву, а также нашим современникам. Всего на проведенных мероприятиях было представлено более 180 устных докладов. Завершилась Конференция 8 ноября торжественным заседанием и расширенным видеоконференцией «Генетические ресурсы России: научное и культурно-историческое наследие», организованном Президентской библиотекой совместно с ВИР имени Н.И. Вавилова в рамках цикла «Знание о России». Лекторий собрал более 300 очных участников и более 1500 онлайн. Проведенные сессии и круглые столы, обсуждение заслушанных докладов показали, что проводимые исследования в сфере сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений на современном уровне отвечают направлениям, заданным Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации № 145 от 28.02.2024 г., национальным целям развития Российской Федерации, определенным Указом Президента Российской Федерации № 309 от 07.05.2024 г., задачам Доктрины продовольственной безопасности, Указ Президента Российской Федерации № 20 от 21.01.2020 г., и соответствуют критическим и сквозным технологиям, обозначенным Указом Президента Российской Федерации № 529 от 18.06.2024 г.

Ключевые слова: Бюро по прикладной ботанике, Вавилов Н.И., ВИР, генетика растений, генетические ресурсы растений, Иванов Н.Н., Карпеченко Д.Г., Мальцев А.И., прикладная биохимия растений, Ригин Б.В., селекция растений, Хотылёва Л.В.

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений по соглашению с Минобрнауки России от 15 февраля 2024 года № 075-02-2024-1090.

Для цитирования: Хлесткина Е.К., Ухатова Ю.В., Лоскутов И.Г., Вишнякова М.А., Гавриленко Т.А., Радченко Е.Е., Зуев Е.В., Шеленга Т.В., Леншин А.А., Шипилина Л.Ю., Швачко Н.А., Чухина И.Г., Котелкина И.В. Об итогах конференции «ВИР-130: генетические ресурсы растений» (5-9 ноября 2024 г., Санкт-Петербург). *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(1):53-67. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-05

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

© Хлесткина Е.К., Ухатова Ю.В., Лоскутов И.Г., Вишнякова М.А., Гавриленко Т.А., Радченко Е.Е., Зуев Е.В., Шеленга Т.В., Леншин А.А., Шипилина Л.Ю., Швачко Н.А., Чухина И.Г., Котелкина И.В. 2025

Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o5

On the results of the Conference “VIR – 130: Plant Genetic Resources” (November 5-9, 2024, St. Petersburg)

Elena K. Khlestkina, Yulia V. Ukhatova, Igor G. Loskutov, Margarita A. Vishnyakova, Tatjana A. Gavrilenko, Evgeny E. Radchenko, Evgeny V. Zuev, Tatjana V. Shelenga, Aleksandr A. Lenshin, Liliya Yu. Shipilina, Nataliya A. Shvachko, Irena G. Chukhina, Irina V. Kotelkina

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

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

On November 8 (October 27 old style), 1894, the Bureau of Applied Botany was set up under the Scientific Committee of the Ministry of Agriculture and State Property of the Russian Empire. The Bureau is the predecessor of VIR, a world-famous institute, the director and organizer of which was our famous compatriot Nikolai Ivanovich Vavilov. It was the Bureau of Applied Botany that initiated the scientific and technological creation and provision of a shield of food security for our country – the famous Vavilov collection of genetic resources of cultivated plants. The conference “VIR-130: Plant Genetic Resources” was held on November 5-9, 2024 in St. Petersburg. The conference served as a platform for discussing the most pressing issues of preserving the genetic resources of cultivated plants and their wild relatives today, which range from the need to prepare new regulatory acts at the federal level to success in national breeding of various crops and strengthening the role of genetics in ensuring food and technological security of Russia. The Conference included a series of 10 events and round tables designed to cover the entire range of modern work with collections of plant genetic resources and their application in fundamental science, agriculture, medicine, and industry.

Separate events were dedicated to outstanding plant researchers – associates of N.I. Vavilov, namely G.D. Karpechenko, N.N. Ivanov, A.I. Maltsev, as well as our contemporaries. In total, more than 180 oral reports were presented at the events. The Conference ended on November 8 with a ceremonial session and an extended video lecture “Genetic Resources of Russia: Scientific and Cultural-Historical Heritage”, organized by the Presidential Library jointly with the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) as part of the “Knowledge of Russia” series.

The lecture brought together more than 300 in-person participants and more than 1,500 online. The sessions and round tables held, as well as the discussion of the reports showed that the research carried out in the field of conservation, study and use of plant genetic resources at the modern level is aligned with the directions set by the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation approved by Decree of the President of the Russian Federation No. 145 dated February 28, 2024, the national development goals of the Russian Federation defined by Decree of the President of the Russian Federation No. 309 dated May 07, 2024, the tasks of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation, Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020 and corresponds to critical and end-to-end technologies designated by Decree of the President of the Russian Federation No. 529 dated June 18, 2024.

Keywords: Bureau of Applied Botany, Vavilov N.I., VIR, plant genetics, plant genetic resources, Ivanov N.N., Karpechenko G.D., applied plant biochemistry, Rigin B.V., plant breeding, Khotyleva L.V.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the implementation of the Development Program of the National Center for Plant Genetic Resources under the Agreement with the Ministry of Education and Science of Russia dated February 15, 2024 No. 075-02-2024-1090.

For citation: Khlestkina E.K., Ukhatova Y.V., Loskutov I.G., Vishnyakova M.A., Gavrilenko T.A., Radchenko E.E., Zuev E.V., Shelenga T.V., Lenshin A.A., Shipilina L.Yu., Shvachko N.A., Chukhina I.G., Kotelkina I.V. On the results of the Conference “VIR-130: Plant Genetic Resources” (November 5-9, 2024, St. Petersburg). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(1):53-67. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-1-o5

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

© Khlestkina E.K., Ukhatova Y.V., Loskutov I.G., Vishnyakova M.A., Gavrilenko T.A., Radchenko E.E., Zuev E.V., Shelenga T.V., Lenshin A.A., Shipilina L.Yu., Shvachko N.A., Chukhina I.G., Kotelkina I.V. 2025

Введение

8 ноября (27 октября по старому стилю) 1894 года при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской империи было создано Бюро по прикладной ботанике. Бюро – правопродшественник ВИР, института с мировым именем, директором-организатором которого стал наш знаменитый соотечественник Николай Иванович Вавилов. Сегодня ВИР имеет статус государственного научного центра Российской Федерации и включен Правительством Российской Федерации в перечень системообразующих организаций российской экономики. В целях обеспечения научно-технологического развития Российской Федерации и комплексного решения задач ускоренного развития генетических технологий, Указом Президента Российской Федерации от 8 февраля 2022 г. № 44 «О Национальном центре генетических ресурсов растений» на базе Института образован первый в стране Национальный биоресурсный центр (On the National Center..., 2022).

Именно с Бюро по прикладной ботанике началось научно-технологическое создание и обеспечение продовольственного щита нашей страны – знаменитой Вавиловской коллекции генетических ресурсов культурных растений. Этому событию приурочена конференция «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений», состоявшаяся 5-9 ноября 2024 года в Санкт-Петербурге. Организаторы: ВИР имени Н.И. Вавилова и Национальный центр генетических ресурсов растений в составе ВИР, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук и Санкт-Петербургское отделение РАН, Вавиловское общество генетиков и селекционеров и Санкт-Петербургское отделение ВОГиС, Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина, Научный центр мирового уровня «Агротехнологии будущего», Консорциум «Хлеба России».

Пленарное заседание с видеолекторием «Генетические ресурсы России: научное и культурно-историческое наследие»

Торжественное пленарное заседание конференции с видеолекторием состоялось 8 ноября 2024 года в Президентской библиотеке. Лекторий «Генетические ресурсы растений: научное и культурно-историческое наследие» из цикла «Знания о России» состоялся в день 130-летия Бюро по прикладной ботанике при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ

Российской Империи. Бюро – правопродшественник ВИР. Именно с него началось научно-технологическое создание и обеспечение продовольственного щита нашей страны – знаменитой Вавиловской коллекции генетических ресурсов культурных растений, которая имеет не только научное значение, но и выполняет важнейшую функцию в сфере продовольственной безопасности. С историей ее создания и сохранения связаны события, отражающие влияние нашей страны на глобальную экономику и политику, а также формирующие культурно-историческое наследие нашей Родины. Знаменательно, что лекторий проходит в год 80-летия снятия блокады Ленинграда и в преддверии 80-летия Великой Победы, знаменательных событий, с которыми связана судьба каждого сотрудника ВИР. Отдельное внимание в лектории уделено 300-летию Российской академии наук.

В первой части лектория в научно-популярном формате была освещена роль генетических ресурсов растений в жизни общества. Докладчики с разных сторон представили этот вопрос: с историко-культурной – Сергей Брилев, журналист, телеведущий, кавалер Ордена Почета и Ордена Дружбы; экономической – Марк Гехт, экономист, выпускник МГИМО, управляющий партнер РУСИД; образовательной и просветительской – Татьяна Семилет, биолог, младший научный сотрудник ВИР; Георгий Ботвинкин – биолог, аспирант ВИР; Наталья Жаркова – математик, директор СОШ № 10, г. Майкоп; Григорий Ухатов – ученик 7 класса СОШ № 189, г. Санкт-Петербург – через призму истории и деятельности ВИР (табл. 1).

Во второй части лектория академики РАН Ольга Сильвестровна Афанасенко, главный научный сотрудник Всероссийского института защиты растений, и Алексей Владимирович Кочетов, директор Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики СО РАН, Президент Вавиловского общества генетиков и селекционеров, представили лекции «Идентифицированный генофонд устойчивости зерновых культур и картофеля к болезням» и «Растения и новые генетические технологии», соответственно.

Объединенный единым динамичным сценарием с выступлением представителей академического сообщества и участием аспиранта, школьника, учителя, тележурналиста и представителя реального сектора экономики, лекторий собрал аудиторию около двух тысяч слушателей (Video lecture..., 2024). Модератором и автором сценария мероприятия выступила директор ВИР, профессор РАН Хлесткина Елена Константиновна.

Таблица 1. Важные даты в истории ВИР

Год	Событие
1894	Создано Бюро по прикладной ботанике
1924	Учреждение реорганизовано в институт (Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур)
1930	Учреждение стало Всесоюзным институтом растениеводства (ВИР)
1941-1944	Вавиловская коллекция сохранена в годы блокады
1967	Институту присвоено имя Н.И. Вавилова
1992	Учреждение стало Всероссийским научно-исследовательским институтом растениеводства имени Н.И. Вавилова; часть опытных станций филиальной сети ВИР остались за пределами страны и превратились в зарубежные институты – партнеры ВИР
1994	ВИР получил статус Государственного научного центра
2014	Институт преобразован в Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)
2022	На базе ВИР Указом Президента Российской Федерации № 44 от 08.02.2022 «О Национальном центре генетических ресурсов растений» создан первый в стране Национальный биоресурсный центр
2022	ВИР отнесен к системообразующим организациям российской экономики
2023	Сеть опытных станций ВИР расширилась до 15 филиалов, из них сегодня 6 находятся в районах Крайнего Севера и приравненных к ним
2024	Принят не имеющий аналогов в мировой практике федеральный закон «О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях», инициатором которого выступил ВИР

Мероприятия конференции

Под эгидой конференции «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений» состоялись 10 научных мероприятий (табл. 2). На этих мероприятиях были в общей сложности представлены более 180 устных докладов. Материалы докладов опубликованы (VIR – 130, 2024). Также в рамках Конференции состоялось открытое заседание Национального союза селекционеров и семеноводов (совместное мероприятие НССиС и ВИР). Одновременно с Конференцией «ВИР – 130: Генетические ресурсы

растений» в Республике Узбекистан проходила научная конференция, посвященная 100-летию со дня основания одной из первых опытных станций ВИР, основанных Н.И. Вавиловым – Среднеазиатской (ныне – Научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений Узбекистана). Учреждения-юбилары обменялись приветствиями в формате видеосвязи. От ВИР на конференции, посвященной 100-летию Среднеазиатской опытной станции, был представлен доклад «Высокотехнологичное применение генетических ресурсов растений как драйвер развития биоэкономики».

Таблица 2. Мероприятия конференции «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений»

	Название мероприятия	Формат, посвящение
1	« <i>Ex situ</i> и <i>in situ</i> сохранение и мобилизация генетических ресурсов»	сессия
2	«Расширение генетического разнообразия: фундаментальные и прикладные аспекты»	сессия, посвященная 125-летию со дня рождения Г.Д. Карпеченко
3	«Поклоение F3»	сессия (конференция молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников)
4	«Прикладная генетика культурных растений»	сессия, посвященная 90-летию Б.В. Ригина
5	«Прикладная биохимия и физиология культурных растений»	сессия, посвященная 140-летию со дня рождения Н.Н. Иванова
6	«Биоразнообразие растений: правовые нормативные, этические, социальные и экономические аспекты»	круглый стол
7	«Сорные и инвазивные растения»	круглый стол, посвященный 145-летию со дня рождения А.И. Мальцева
8	«Сохранение и развитие кадрового потенциала в сфере изучения и использования генетических ресурсов растений»	круглый стол, посвященный памяти Л.В. Хотылёвой
9	«Изучение генетических ресурсов растений: историко-культурные аспекты»	круглый стол
10	«Хлеба России»	сессия «Хлебные злаки» (и круглый стол «Хлеба России»)
11	Открытое заседание Национального союза селекционеров и семеноводов	совместное мероприятие НССиС и ВИР

«*Ex situ* и *in situ* сохранение и мобилизация генетических ресурсов»

На сессии «*ex situ* и *in situ* сохранение и мобилизация генетических ресурсов» были представлены и обобщены новые материалы о развитии генбанков и вызовах, стоящих перед ними. Обсуждались проблемы хранения семян в контролируемых условиях при различных режимах в разрезе особенностей разных групп культур; специфика длительного поддержания коллекций ГРП с учетом репродукций и заботы о сохранении генетической чистоты, целостности и подлинности (аутентичности) материалов. Особое внимание в докладах по формированию, сохранению и использованию коллекций культур, размножаемых семенами, было уделено зерновым и овощным культурам. Отдельными темами для обсуждения на сессии стали длительное хранение с применением *in vitro* и *in cryo* технологий. Речь преимущественно шла о вегетативно размножаемых культурах – плодовых, ягодных, винограде, картофеле. В отдельном докладе освещалось *in vitro* сохранение образцов сахарной свеклы и новый функционал в работе с коллекциями ГРП с учетом возможностей современных информационных и биотехнологий, а также с учетом потребностей развития генетических технологий и повышения востребованности и эффективности использования образцов ГРП.

При рассмотрении вопросов, связанных с изучением и использованием коллекций ГРП, особое внимание было уделено организации работ по скринингу *ex situ* коллекций на иммунитет к различным болезням, в том числе, освещены вопросы создания и сохранения коллекций фитопатогенов для проведения таких скринингов.

Еще одним направлением сессии стали доклады, посвященные актуальным проблемам *in situ* сохранения генофонда культурных растений и их диких родичей. Особое внимание было уделено развитию таких исследований в Арктической зоне Российской Федерации.

Подробный пайплайн исследований в сфере *in situ* сохранения – от мониторинга, комплексной оценки природных популяций, до принятия решения о переносе наиболее подверженных риску образцов в генбанки и адресного подбора методик для этих целей – был представлен на примере растений семейства Rosaceae в Казахстане.

Работы, доложенные на сессии, соответствуют направлению «переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания» Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации № 145 от 28.02.2024 г. (On the Strategy..., 2024a) и задаче, выполнение которой характеризует достижение национальной цели «Техно-

логическое лидерство»: «обеспечение технологической независимости и формирование новых рынков по таким направлениям, как биоэкономика, сбережение здоровья граждан, продовольственная безопасность...» (On the national..., 2024b).

«Расширение генетического разнообразия: фундаментальные и прикладные аспекты»

Сессия была посвящена 125-летию со дня рождения Г.Д. Карпеченко. Вся научная деятельность великого генетика, не считая периода учебы в Москве, была связана с ВИР, где под его руководством в 1920-1930-е годы были начаты оригинальные генетические исследования по получению отдаленных гибридов: их цитогенетическое изучение, преодоление нескрещиваемости, разработка методов получения полиплоидов, применение экспериментального мутагенеза (Карпеченко, 1935). На основе межвидовой и внутривидовой гибридизации, индуцированных мутаций, экспериментальной полиплоидии в ВИР было создано множество новых форм и сортов. К началу 1940-х годов ученые ВИР фактически вплотную подошли к пониманию генетических механизмов интрогрессивной гибридизации и к целенаправленному изменению геномных комплексов культивируемых видов растений. Жизнь ученого оборвалась очень рано – он стал одной из жертв сталинских репрессий. Однако начатые им исследования продолжены его учениками и последователями.

Сессия состояла из трех тематических секций.

Секция 1. «От Г.Д. Карпеченко до наших дней – исследования по расширению генетического разнообразия селекционного генофонда, сохраняемого в коллекции ВИР» была посвящена развитию идей Г.Д. Карпеченко в ВИР. Выступившие на ней сотрудники института представили результаты своих исследований по отдаленной гибридизации картофеля, подсолнечника, зерновых и плодовых культур.

Использование методов молекулярного скрининга и фенотипирования значительно повысило эффективность отбора в коллекциях перспективных генотипов – источников селекционно-ценных признаков и результативность традиционных исследований по межвидовой гибридизации. Так, на основе методов ДНК-маркирования, была сформирована генотипированная стержневая коллекция образцов гексаплоидной пшеницы с различным уровнем скрещиваемости с рожью. Реорганизация геномов межвидовых гибридов подсолнечника изучена с применением анализа полиморфизма запасных белков семян и ДНК-маркеров, которые также были использованы в изучении новых источников ЦМС и источников генов восстановления фертильности пыльцы (*Rf*). Ценный материал для селекции представляют генотипированные и фенотипированные источники устойчивости к вредным организмам, выделенные в коллекции диких видов картофеля и созданные с их участи-

ем межвидовые половые гибриды.

Использование методов молекулярной цитогенетики (GISH, FISH) предоставило новые данные о стабилизации гибридных геномов и механизмах интрогрессии генетического материала дикорастущих видов в геном культурных растений. На основе многолетних исследований межвидовых гибридов ячменя определены возможности и ограничения интрогрессивной гибридизации *Hordeum vulgare* с *H. bulbosum*; исследована интенсивность процесса элиминации хромосом дикорастущего ячменя у гибридов различного геномного состава и создана серия фертильных интрогрессивных линий. В GISH анализе потомства соматических гибридов *Solanum tuberosum* с дикими диплоидными мексиканскими видами из третичного генпула картофеля выявлен относительно высокий уровень гомеологичного спаривания хромосом и выделены генотипы с рекомбинантными хромосомами и моносомные дополненные линии. Среди включенных в коллекцию ВИР пшенично-пырейных гибридов, созданных исследователями разных стран, выделены гибридные образцы с транслокациями и/или рекомбинантными хромосомами.

Масштабные многолетние исследования по межвидовой гибридизации, проводимые на Крымской опытно-селекционной станции ВИР, привели к расширению генетического разнообразия ряда косточковых культур, созданию вегетативно размножаемых подвоев и новых сортов.

Секция 2. «Современные подходы к расширению генетического разнообразия культурных растений» объединила три доклада о современной методической платформе, используемой для расширения генетического разнообразия и получения новых форм растений, включая редактирование геномов (CRISPR/Cas9), направленный мутагенез и трансгенез.

Однако учитывая богатый опыт получения межвидовых и межродовых гибридов в нашей стране и за рубежом, успехи интрогрессивной селекции и практическую значимость многих отдаленных гибридов в мировом масштабе, было подчеркнуто, что отдаленная гибридизация продолжает оставаться очень эффективным методом. Прозвучало предложение о создании национального проекта по отдаленной гибридизации.

Секция 3. «Научное наследие Г.Д. Карпеченко в развитии современной селекции» включила доклады исследователей из селекционных учреждений, продемонстрировавших итоги получения современных сортов, гибридов и перспективных селекционных форм, созданных на основе межвидовой гибридизации. Показателен пример создания синтетического вида трититригия – многолетнего гибрида пшеницы и пырея, ставшего признанной продовольственной и кормовой культурой. Коллеги из Республики Беларусь представили доклады о путях получения и свойствах межвидовых гибри-

дов картофеля, придающих им устойчивость к болезням и улучшенное качество клубней. Посредством межвидовой гибридизации получены новые сорта и гибриды овощных пасленовых с повышенной холодостойкостью, партенокарпией, увеличенным содержанием сухого вещества и полезных вторичных метаболитов в плодах, устойчивых к различным патогенам. Впечатляющее разнообразие гетерозисных гибридов F₁ капустных культур получено на основе самонесовместимости, ЦМС, путем удвоения наборов хромосом гаплоидов – методами отдаленной гибридизации, получившими развитие на основе научного наследия Г.Д. Карпеченко. Эволюционные аспекты семенной репродукции гречихи были отражены в докладе о системе самонесовместимости у этой культуры, широко используемой в ее гетерозисной селекции.

Таким образом, мероприятию удалось отразить широкий спектр исследований, направленных на расширение генетического разнообразия селекционного генофонда, развитие теоретических и методологических аспектов отдаленной гибридизации растений и их практической реализации.

Материалы, представленные в рамках сессии, соответствуют критической технологии 9 («Технологии получения устойчивых к изменениям природной среды новых сортов и гибридов растений») и сквозным технологиям 28 («Биотехнологии в отраслях экономики») и 27 («Природоподобные технологии»), утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» (On approval of priority..., 2024с).

«Поколение F3»

Молодежная конференция (сессия) «Поколение F3» 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.

На сессии было представлено около 80 докладов в области генетики, агробиотехнологии и современной селекции культурных растений. Основное внимание в работах молодых исследователей уделено культурам, приоритетным для обеспечения продовольственной безопасности: овощным, плодовым, зернобобовым и зерновым. Спектр исследований в представленных сообщениях – от развития классических методов селекции до применения новейших постгеномных технологий. Отдельные доклады были посвящены исследованиям редких и исчезающих видов растений нашей страны, методам оценки их состояния, биотехнологическим и молекулярно-генетическим подходам, направленным на улучшение состояния и сохранение этих видов, не только *ex situ*, но и непосредственно в природных популяциях, что обеспечивает сохранение биоразнообразия раститель-

ных объектов нашей страны и является неотъемлемой частью современных подходов к охране природы.

Отдельное место в рамках Молодежной конференции заняла специальная секция «Принцип матрешки – межрегиональное сотрудничество по вопросам сохранения агробиоразнообразия». В этой секции, ставшей традиционной, приняли участие с докладами учащиеся образовательных учреждений, выполняющих свою школьную научную проектную деятельность в области генетики и биотехнологии растений, работающие с генетическими ресурсами культурных растений и их диких родичей. Свои исследовательские задачи школьники решают не только в рамках образовательных проектов ВИР и партнеров, но и, в том числе, представляют свои авторские актуальные научно-исследовательские проекты, выполняемые под руководством педагогов образовательных учреждений. Юные участники продемонстрировали высокую мотивированность и заинтересованность в научно-исследовательской работе, глубокую погруженность в тематику выполняемых работ, проработанность и анализ полученных результатов. Участниками секции стали ученики школ, домов детского творчества и биологических центров: Республики Удмуртия, Архангельской, Мурманской, Ленинградской областей, Ханты-Мансийского автономного округа, Республики Адыгея, Краснодарского края и Санкт-Петербурга, а также их наставники. В рамках секции «Принцип матрешки – межрегиональное сотрудничество по вопросам сохранения агробиоразнообразия» были проведены также обсуждения вопросов привлечения школьников к научно-исследовательской работе, включения их в научно-исследовательские программы и проекты вузов и научно-исследовательских организаций не только в крупных образовательных центрах страны, но и в регионах. Особое внимание было уделено получению обучающимися опыта работы в рамках образовательных и просветительских мероприятий и проектов, его роли в профориентации старших школьников.

Все участники конференции отметили колоссальную возможность познакомиться с проводимыми исследованиями в области актуальных научных направлений, по которым работают молодые ученые, представить свои результаты, совместно ставить и решать современные задачи, находить точки междисциплинарного взаимодействия, соприкосновения в исследованиях разных научных школ и исследовательских групп. Как показал положительный опыт наставников и педагогов, при решении научно-исследовательских и практических задач стоит привлекать юных исследователей, для мотивированного и осознанного выбора профессиональной деятельности в будущем, а также для популяризации науки среди школьников.

Молодежная конференция (сессия) «Поколение F3»

в полной мере соответствовала задачам, поставленным Указами Президента и Распоряжениями Правительства в отношении развития кадрового потенциала, в частности: Указу Президента Российской Федерации № 44 от 08.02.2022 г. – задача по сохранению и развитию кадрового потенциала в области генетических ресурсов растений, отраженная в пункте 7 Указа (On the National Center..., 2022) и Распоряжению Правительства Российской Федерации 2496-р от 16.09.2023 г. – задача по развитию кадрового потенциала в области изучения и использования генетических ресурсов растений, формированию условий для привлечения к научным исследованиям талантливых специалистов (On approval of the Development..., 2023).

«Прикладная генетика культурных растений»

Мероприятие «Прикладная генетика культурных растений» было посвящено доктору биологических наук, профессору Б.В. Ригину, который 31 декабря 2024 года отметил 90-летний юбилей (Chief Researcher..., 2024). Еще в 1960-х годах Борис Викторович участвовал в возрождении генетических исследований в ВИР, а широкое признание принесли ему работы в области отдаленной гибридизации и частной генетики культурных злаков. Проводимые сегодня в отделе генетики ВИР исследования направлены на раскрытие генетического потенциала разнообразия генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей по важнейшим биологическим и агрономическим признакам.¹

В условиях глобального изменения климата и усиливающейся эрозии генетического разнообразия приоритетны и все более актуальны исследования, направленные на выявление и использование в селекции адаптивного потенциала растений, защищенных эффективными генами устойчивости к патогенам и абиотическим стрессорам, а также создание исходного материала для обеспечения новых направлений селекции. Так, успешно развиваются исследования генетических ресурсов ржи, создаются генетические доноры селекционно ценных признаков (короткостебельность, устойчивость к болезням, качество зерна и др.); разработана малозатратная технология селекции низкопентозановой ржи, основанная на взаимообусловленной связи низкого количества пентозанов с тонкопокровностью зерна. На конференции обсуждался цитологический анализ гибридов подсолнечника, полученных при использовании ЦМС-линий. В условиях Северо-Запада России выявлено широкое внутривидовое разнообразие ячменя из стран Восточной Азии по скорости созревания, выделены источники слабой фотопериодической чувствительности. Идентифицированы генотипы, несущие адаптивно ценные комбинации аллелей генов *Ppd* и *Vrn*, перспективные для выращивания в различных эколого-географических регио-

¹ В январе 2025 года Б.В. Ригину присвоено звание почетный профессор ВИР (прим. ред.)/ In January 2025, B.V. Rigin was awarded the title of Honorary Professor of VIR (ed. note)

нах России. Создан селекционный материал ячменя, в том числе несколько дигаплоидных линий, защищенный эффективным геном устойчивости к пыльной головне *Run8*. Многолетние исследования выявили большое влияние погодных условий на развитие растений и проявление более 20 хозяйственно ценных признаков льна-долгунца, что указывает на необходимость поиска генотипов со стабильным проявлением признаков для получения новых сортов, которые будут давать стабильный урожай и волокно хорошего качества. Вовлечение в селекционную работу образцов генетической коллекции льна-долгунца ВИР позволило сибирским селекционерам расширить генетическое разнообразие и получить раннеспелые сорта с высоким содержанием качественного волокна.

Итогом масштабных и многолетних исследований коллекции картофеля ВИР стала экологическая и физиологическая характеристика образцов диких и культурных видов, а также интродуцированных сортов. Фенотипическую характеристику образцов коллекции сегодня дополняют результаты их молекулярно-генетического анализа с использованием ДНК-маркеров генов, участвующих в обеспечении устойчивости картофеля к фитофторозу, цистообразующим нематодам, вирусам и раку. Получены данные о структурно-функциональном полиморфизме гена устойчивости к фитофторозу *Ph-3* у широкого круга видов *Solanum*, которые могут быть использованы в селекционном процессе при создании сортов томата с повышенной устойчивостью к фитофторозу. Несмотря на значительное в ряде случаев число идентифицированных генов, дифференциальное взаимодействие патогенов с растениями-хозяевами обуславливает настоятельную необходимость расширения генетического разнообразия многих культур по устойчивости к вредным организмам. Один из наиболее перспективных путей решения этой проблемы – интрогрессия генов устойчивости. На конференции обсуждались классические и молекулярные методы анализа скрещиваемости мягкой пшеницы с рожью посевной.

Ряд докладов был посвящен формированию коллекций идентифицированных генофондов сельскохозяйственных культур по различным признакам для раскрытия генетической структуры растительных ресурсов и повышения эффективности селекции. Исследование образцов кафрского сорго коллекции ВИР по морфологическим признакам зерна и составу электрофоретических спектров запасных белков кафиринов, а также анализ полиморфизма кафирин-кодирующих локусов показали, что изученные формы могут быть востребованы в гибридной селекции зернового сорго. Для генотипирования и паспортизации рыжика посевного верифицированы микросателлитные маркеры, разработаны и апробированы фланкирующие микросателлитные локусы праймеры, среди которых выявлены наиболее перспективные для генотипирования культуры. Усовершенствована генетическая идентификация черной смородины с использованием микросателлитных маркеров. Изучен полиморфизм ортологов гена *ATV*

Solanum lycopersicum, связанного с накоплением антоциана в вегетативных частях растений и плодах культур семейства пасленовых, что позволило понять ряд генетических закономерностей накопления пигментов с высокими антиоксидантными свойствами в различных органах растений сортов овощных культур.

Материалы, представленные в рамках сессии соответствуют критической технологии 9 («Технологии получения устойчивых к изменениям природной среды новых сортов и гибридов растений») и сквозной технологии 28 («Биотехнологии в отраслях экономики»), утвержденные Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» (On approval of priority..., 2024c).

«Прикладная биохимия и физиология культурных растений»

Биохимические и физиологические методы изучения растительных ресурсов – одна из основ современного растениеводства и успешных селекционных работ, направленных на улучшение качества сортов основных пищевых и кормовых культур. Развитием направления биохимии культурных растений в ВИР стал друг и соратник Н.И. Вавилова – Николай Николаевич Иванов. В ноябре 1923 года он организовал химико-аналитическую лабораторию, главная задача которой состояла в химической характеристике сельскохозяйственных растений и в модификации методов химического анализа растительных объектов. Переход Н.Н. Иванова в ВИР, его работа с генетическим разнообразием культурных растений привела к кардинальному изменению в мировой науке подхода к химическим исследованиям культурных растений: во главе угла стало раскрытие наследственной изменчивости количества и качества химических веществ. Н.Н. Иванов, являвшийся родоначальником прикладной биохимии культурных растений, издал в 1936 году капитальный труд по этому направлению – «Биохимия культурных растений» в семи томах (Iwanoff, 1936-1940). В этом году Н.Н. Иванову исполнилось 140 лет. Работа круглого стола «Прикладная биохимия и физиология культурных растений» была посвящена юбилею ученого.

Среди первых ассистентов, лаборантов и практикантов, работавших с Н.Н. Ивановым в 1926 году, был А.И. Ермаков, ставший впоследствии заведующим отделом биохимии ВИР. И в настоящее время отдел продолжает традиции, заложенные первыми его руководителями. Публикации сотрудников отдела отражают современную научную проблематику. Выступления и обсуждения в рамках сессии затронули значение биохимии и физиологии растений для производства, селекции и развития современных научных направлений исследования генетических ресурсов растений.

На сессии был сделан акцент на связь биохимических

показателей хозяйственной ценности с направлением использования культуры в целом или отдельных образцов, в частности вигны, пряно-ароматических и лекарственных трав из коллекции ВИР. Серию работ по оценке питательной ценности/ антиоксидантным свойствам/ содержанию биологически активных веществ продолжили доклады по результатам изучения образцов ржи, фасоли, кукурузы (на силос), ячменя (пивоваренного).

Приобретают все большую актуальность работы по изучению засухоустойчивости образцов, что было продемонстрировано на примере гуара, в условиях Волгоградской области, а также ряда зернобобовых культур, в условиях северного Казахстана.

Приведены новые данные изучения генетических ресурсов растений, позволяющие расширить знания об их потенциале и более эффективно использовать эти ресурсы в селекции новых сортов хозяйственно значимых культур. Было подчеркнуто значение экспресс методов оценки генетических ресурсов растений. Одним из таких методов является метод Фурье-спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК-спектрометрия). Данный метод подходит для скрининга большого количества образцов коллекционного материала. Он дает возможность одномоментно получить данные по основным биохимическим признакам и сохранить ценный селекционный материал для последующих работ.

Особо следует отметить работы сотрудников института по выявлению биохимических маркеров устойчивости *Aegilops tauschii* Coss. к грибным патогенам и маркеров алюмотолерантности зимостойких форм *Triticum aestivum* L. Интересны работы по выявлению особенностей биохимических профилей волокон прядильных культур, которые могут быть использованы в качестве сырья для создания биофортифицированных тканей. Последние благоприятно влияют на кожу человека, что обусловлено их составом. Особенно важно то, что их производство безопасно для окружающей среды.

Среди докладов были представлены результаты комплексного исследования образцов овса из коллекции ВИР, выращенных в условиях Казахстана, которое позволило выделить образцы голозерного овса с повышенными и стабильными показателями содержания протеина, крахмала, амилозы, жира, отдельных жирных кислот и β -глюканов для дальнейшего включения в селекционные программы Республики Казахстан.

Работа сессии в очередной раз показала значимость биохимии и физиологии растений для изучения генетических ресурсов растений и более полного использования их потенциала для селекции.

Сессия продемонстрировала заметное увеличение вклада исследований в области прикладной биохимии и физиологии растений, опирающихся на комплексную оценку и сочетание классических методов биохимии и физиологии с современными омиксными подходами. Роль прикладной биохимии и физиологии культурных растений с самого начала предполагала оценку вклада

генотипа в формирование биохимических и физиологических параметров. С применением омиксных подходов стало возможным характеризовать этот вклад различиями между генотипами по вовлеченности генных и метаболических сетей и их отдельных компонент в формирование признаков.

Материалы, представленные в рамках сессии, соответствуют критической технологии 9 («Технологии получения устойчивых к изменениям природной среды новых сортов и гибридов растений») и сквозной технологии 28 («Биотехнологии в отраслях экономики»), утвержденные Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» (On approval of priority..., 2024c).

«Биоразнообразие растений: правовые нормативные, этические, социальные и экономические аспекты»

Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий» технологии сохранения биологического разнообразия отнесены к критическим технологиям (On approval of priority..., 2024c).

Эффективность научно-технологического прорыва в любой сфере зависит от нормативного правового регулирования в данной сфере, от оценки социального и экономического эффекта любой технологии на старте и в процессе ее разработки. Круглый стол «Биоразнообразие растений: правовые нормативные, этические, социальные и экономические аспекты» объединил биологов, представителей научных учреждений – держателей крупных коллекций растений: Ботанического института РАН имени В.Л. Комарова, ВИР имени Н.И. Вавилова и др.; юристов – представителей Московской государственной юридической академии имени О.Е. Кутафина, Уральского государственного юридического университета имени В.Ф. Яковлева; экономистов – представителей Вологодского научного центра РАН – для выработки общего комплексного взгляда на проблему.

Участники круглого стола подчеркнули, что, несмотря на то, что сохранение и изучение био- и генетического разнообразия флоры в биоресурсных (биологических) коллекциях не приносит сиюминутной выгоды, этот стратегический ресурс и связанные с ним исследования лежат в основе научно-технологических и научно-производственных цепочек, завершающие этапы которых относятся к важнейшим направлениям реального сектора экономики. Помимо решения первостепенного вопроса продовольственной безопасности, растительное сырье с заданными свойствами и его переработка представляют более десятка направлений промышленности, среди кото-

рых – пищевая, фармацевтическая, целлюлозно-бумажная, текстильная, парфюмерная, оборонная, авиационная, газо-нефтедобывающая, строительная и т.д. (Khlestkina, 2024).

Участники круглого стола подчеркнули значимость скорейшего принятия федерального закона о биоресурсных центрах и биологических коллекциях и дальнейших подзаконных нормативных правовых актов для обеспечения создания, формирования, сохранения, развития, изучения и использования биологических (биоресурсных) коллекций, находящихся в собственности Российской Федерации.

Необходимо отметить, что спустя три недели после завершения конференции «ВИР – 130», после утверждения во втором и третьем чтении в Государственной Думе и утверждения Советом Федерации, Федеральный закон от 30.11.2024 № 428-ФЗ «О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях и о внесении изменений в статью 29 Федерального закона "О животном мире"» был подписан Президентом Российской Федерации (Federal Law..., 2024; St. Petersburg scientists..., 2024).

«Сорные и инвазивные растения»

Круглый стол «Сорные растения: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции» был посвящен 145-летию со дня рождения Александра Ивановича Мальцева – соратника Н.И. Вавилова, основоположника теоретических основ учения о сорных растениях. Под его руководством вышли капитальные труды: четырехтомная монография «Сорные растения СССР» (The Weeds..., 1934a, b; 1935), двухтомный «Атлас важнейших видов сорных растений СССР» (Maltsev, 1937; 1939).

Сегодня ученики и последователи А.И. Мальцева проводят исследования в рамках приоритетных направлений научно-технологического развития, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 г. № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий», разрабатывая технологии сохранения биологического разнообразия и борьбы с чужеродными (инвазивными) видами животных, растений и микроорганизмов – критические технологии (пункт 21, On approval of priority..., 2024c).

Темами обсуждения круглого стола стали вопросы распространения сорных, травянистых и древесных растений в различных фитоценозах на территории регионов, затронутых недавними комплексными экспедициями по Среднерусской возвышенности, в Центрально-Черноземной зоне, островах Кунашир, Итуруп и Шикотан, а также в Ленинградской области. Раскрыты вопросы по видовому составу сорного и инвазивного элемента в агроценозах с различным уровнем антропогенного воздействия. Рассмотрены различные стратегии недопущения засорения посевов, с использованием смешанных методов обра-

ботки, которые включают в себя не только химические, биологические или агротехнические мероприятия, но и предлагают возможности интегрированных технологий. Отдельное внимание было уделено обсуждению проблемы распространения *Heracleum sosnowskyi* Manden.

Представленные на заседании круглого стола результаты эколого-геоботанического анализа сегетальных фитоценозов стали отправной точкой для активного обсуждения участниками необходимости широкого использования цифровых методов: ГИС-технологий, с-картирования с использованием светоотражательных индексов и точной локализацией, перспективности использования БПЛА-картирования. Отмечена результативность наблюдений с точечной навигационной привязкой с использованием данных о действующих веществах примененных гербицидов и их фитотоксической направленности. Анализ объема и связей учитываемых показателей в динамике и пространстве показал актуальность применения высокопроизводительных нейросетевых методов, при помощи которых можно устанавливать предикторы. Так, был приведен пример сгенерированного нейросетью предиктора на основе предварительно-рекогносцировочных запросов: режимы осадков второй и третьей декады июня и первой декады октября предыдущего вегетационного сезона являются наиболее важными экологическими предикторами состава сегетального сообщества на полях no-till.

Именно нейросетевые технологии способны помочь в мониторинге сорных и культурных растений в отличие от стандартной на сегодняшний день технологии оценки вегетационных индексов. Нейросетевая вычислительная программа способна обработать мультимедийные светоотражательные спектры растений, в тонкой структуре этих спектров выделить признаки сорных растений после прохождения этапа обучения и эвристического поиска алгоритма преобразования спектральных светоотражательных данных растений в безразмерный индекс когнитивной значимости светового спектра. Круглый стол отметил, что перспективность применения технологий БПЛА-картирования, основанных на использовании мультимедийных оптических камер и нейросетевого программного обеспечения, заключается в том, что они позволяют повысить экономичность обработки сорных растений пестицидами и снизить уровень загрязнения агрохимикатами территорий, используемых для растениеводства.

«Сохранение и развитие кадрового потенциала в сфере изучения и использования генетических ресурсов растений»

Генетические ресурсы растений – стратегический потенциал, раскрытие которого путем изучения и рационального использования, в первую очередь для создания новых сортов и гибридов растений с заданными свойствами – краеугольный камень продовольственной безопас-

ности и научно-технологического развития. Указом Президента Российской Федерации № 44 от 08.02.2022 г. выделена отдельная задача по «сохранению и развитию кадрового потенциала организаций, осуществляющих исследования (разработки), связанные с изучением и использованием генетических ресурсов растений» (пункт 7, On the National Center..., 2022).

Исследования в указанном направлении реализуются в России и сопредельных странах коллективами ведущих научных школ в области генетики, биотехнологии и селекции растений. Поддержка и развитие этих научных школ – важная задача. Не меньшее значение имеет пополнение этих школ выпускниками профильных вузов. Зачастую, еще на этапе обучения в вузе, в подготовке будущих ученых участвуют представители научных школ, совмещая научную деятельность с педагогической, передавая знания из первых рук.

Одним из ярких лидеров, руководителей ведущих научных школ по генетике, селекции и биотехнологии растений на постсоветском пространстве, была академик Любовь Владимировна Хотылёва, с которой научное сообщество простилось 22 сентября 2024 года. Ее памяти организаторы Конференции «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений» посвятили круглый стол «Сохранение и развитие кадрового потенциала в сфере изучения и использования генетических ресурсов растений».

Научная школа, созданная академиком Л.В. Хотылёвой – это ведущие специалисты в различных направлениях изучения и использования генетических ресурсов растений в области мутагенеза, хромосомных нарушений при анеуплоидии, нехромосомной наследственности, популяционной генетики, хромосомной инженерии, клеточной инженерии. Итогом многолетних исследований, проводимых сотрудниками школы, стало важнейшее издание «Генетические основы селекции растений» в четырех томах (Kilchevsky, Khotyleva, 2008-2014, 2018-2020). С развитием в конце 1990-х – начале 2000-х годов молекулярной генетики и геномной инженерии, а затем и геномики, академик Хотылёва активно содействовала внедрению в учебные процессы курсов «Молекулярная генетика», «Генная инженерия», «Геномика», «Молекулярная диагностика», выступала редактором современных учебных материалов по этим направлениям (Khlestkina et al., 2023).

В обсуждении вопросов развития научных школ выступили представители Института генетики и цитологии НАН Беларуси, Института цитологии и генетики СО РАН, Федерального научного центра «Мичуринский», а в отношении развития профильного высшего образования, в том числе путем организации сетевых образовательных программ на базе вузов с участием научных учреждений – докладчики из Вавиловского университета, АГУ, НТУ «Сириус» и ВИР.

«Изучение генетических ресурсов растений: историко-культурные аспекты»

В рамках круглого стола «Изучение генетических ресурсов растений: историко-культурные аспекты» представлены материалы:

- посвященные Г.Д. Карпеченко, чье 125-летие научное сообщество отметило в 2024 году. НОКЦ «Дом Карпеченко» представил новый фильм, посвященный празднованию 125-летия со дня рождения выдающегося отечественного ученого-генетика Г.Д. Карпеченко на его родине, в г. Вельске; библиотечно-издательский отдел ВИР представил презентацию, посвященную жизни и деятельности Г.Д. Карпеченко, и оцифрованные его прижизненные научные труды в количестве 45 документов;

- новые материалы, пополнявшие научное наследие Н.И. Вавилова. Мемориальный музей Н.И. Вавилова ИОГен РАН представил доклад о выявленных в последние годы уникальных дневниковых и рукописных работах студента Московского сельскохозяйственного института, бывшей «Петровки», Николая Вавилова; библиотечно-издательский отдел ВИР сообщил о полной оцифровке прижизненных научных работ академика Н.И. Вавилова, более 390 документов; Институт генетики и агрономии Вавиловского университета представил материалы о вкладе Н.И. Вавилова в развитие саратовской высшей сельскохозяйственной школы;

- материалы, отражающие исторические аспекты сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений в широком диапазоне: как в разрезе одного из отделов ВИР, от истории организации и развития Отдела плодового, огородничества и специальных культур в 1925 г. и рассказа о плеяде талантливых ученых-плодоводов ВИР до современных исследований и новых востребованных направлений работы отдела, так и в разрезе истории целой страны – доклад «Роль Бюро прикладной ботаники в становлении и развитии селекции растений в Казахстане»: от организации первых экспедиций по изучению культурных растений Казахстана, сведений о работе Красновоподской селекционной станции и Алматинской селекционной станции, вкладе выдающихся ученых в развитие научной школы селекционеров, биохимиков и технологов, иммунологов, до результатов современной деятельности этой школы и жизнедеятельности ярких ее представителей.

Историческая летопись, связанная с научной деятельностью в области генетических ресурсов растений, постоянно обогащается новыми материалами и вклад в это вносят в первую очередь сотрудники научных учреждений в сфере ГРП, а также сотрудники музеев, историки. Интерес к теме постоянно возрастает, так как всё, что связано с генетическими ресурсами растений – это основа продовольственной безопасности и суверенитета страны, с одной стороны, а с другой стороны, наука о культурных растениях – кропотливый труд, требующий самоотдачи, и привлекающий в эту отрасль сильные

и неординарные личности, сохранение памяти о которых – важная составляющая нравственной основы нашего общества.

«Хлеба России»

Для Российской Федерации и сопредельных стран ключевыми культурами являются хлебные злаки и, в первую очередь, пшеница мягкая. Создание и внедрение методов ускоренной селекции пшеницы, повышение урожайности, адаптивности и расширение ареалов возделывания требуют сегодня комплексного междисциплинарного взаимодействия селекционеров, генетиков и физиологов, биотехнологов и биоинформатиков, а основным материалом исследований служат образцы генетических ресурсов пшеницы, сохраняемых как в мировой коллекции ВИР, так и в локальных коллекциях селекционеров. На сессии «Хлеба России» исследователи представили комплексный взгляд на решение поставленных задач в области изучения и использования генетических ресурсов хлебных злаков. Особое внимание было уделено применению потенциала коллекций для адаптации создаваемых сортов к неблагоприятным климатическим условиям. Отдельное внимание – результатам, значимым для селекции на качество и диетическую ценность зерна, муки и хлеба. Свои методические наработки в областях исследований от генетического редактирования до геномной селекции и феномики хлебных злаков представили участники консорциума «Хлеба России».

Результаты исследований, представленные на сессии, отвечают задачам Доктрины продовольственной безопасности (On Approval..., 2020), соответствуют направлению «переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству» и включают в себя «разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания» – Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (On the Strategy..., 2024a) и критические технологии 9 («Технологии получения устойчивых к изменениям природной среды новых сортов и гибридов растений» (On approval of priority..., 2024c).

Заключение

Проведенные сессии и круглые столы Конференции «ВИР – 130: Генетические ресурсы растений», обсуждение заслушанных результатов работ в области сохранения, изучения и использования генетических ресурсов растений показали высокий уровень представленных исследований и их важное значение в реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской

Федерации № 145 от 28.02.2024 г., в достижении национальных целей развития Российской Федерации, определенных Указом Президента Российской Федерации № 309 от 07.05.2024 г., и решения задач Доктрины продовольственной безопасности – Указ Президента Российской Федерации № 20 от 21.01.2020 г.

References/Литература

- Chief Researcher of the VIR Genetics Department Boris Rigin is 90! (Glavnomu nauchnomu sotrudniku otдела genetiki VIR Borisu Riginu – 90 let!). *Nauchnyy Peterburg = Scientific Petersburg*. 2024;December:21. [in Russian] (Главному научному сотруднику отдела генетики ВИР Борису Ригину – 90 лет!. *Научный Петербург*. 2024;декабрь:21).
- Federal Law No. 428-FZ “On Bioresource Centers and Biological (Bioresource) Collections and on Amendments to Article 29 of the Federal Law “On the Animal World” dated November 30, 2024 (Federal'nyi zakon “O biorekursnykh tsentrakh i biologicheskikh (biorekursnykh) kollektsiyakh i o vnesenii izmeneniy v stat'yu 29 Federal'nogo zakona “O zhivotnom mire” ot 30.11.2024 № 428-FZ). 2024. [in Russian] (Федеральный закон «О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях и о внесении изменений в статью 29 Федерального закона «О животном мире» от 30.11.2024 № 428-ФЗ. Официальный интернет-портал правовой информации. 2024). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202411300018> [дата обращения: 28.12.2024].
- Iwanoff N.N. (editor-in-chief). *Biochemistry of cultivated plants*. Vol. 1-7. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1936-1940. [in Russian] (Биохимия культурных растений. Т. 1-7 / под общ. ред. Н.Н. Иванова. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1936-1940).
- Karpechenko G.D. Theory of remote hybridization (Teoriya otdalennoy gibridizatsii). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1935. [in Russian] (Карпеченко Г.Д. Теория отдаленной гибридизации. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1935).
- Khlestkina E.K. Intravital formation of the properties of plants – sources of raw materials for polymers with specified characteristics. In: *Climate-2024: modern approaches to assessing the impact of external factors on materials and complex technical systems: Proceedings of the IX All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor Liya Yakovlevna Gurvich (Klimat-2024: sovremennyye podkhody k otsenke vozdeystviya vneshnikh faktorov na materialy i slozhnyye tekhnicheskiye sistemy: sbornik dokladov IKH Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 110-letiyu so dnya rozhdeniya d.t.n., professora Lii Yakovlevny Gurvich); 2024, September 27; Moscow, Russia*. Moscow: NRC «Kurchatov institute» – VIAM; 2024. p.47-57. [in Russian] (Хлесткина Е.К. Прижизненное формирование свойств растительных ресурсов – источников сырья для полимеров с заданными характеристиками. В кн.: *Климат-2024: современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы: сборник докладов IX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения д.т.н., профессора Лии Яковлевны Гурвич; 27 сентября 2024 г.; Москва, Россия*. Москва: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ; 2024. С.47-57).
- Khlestkina E.K., Shumny V.K., Nizhnikov A.A., Tikhonovich I.A. On the anniversary of Academician Lyubov Vladimirovna Khotyleva. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2023;6(1):39-46. [in Russian] (Хлесткина Е.К., Шумный В.К., Нижников А.А., Тихонович И.А. К юбилею академика Любови Владимировны Хотылёвой. *Биотехнология и селекция растений*. 2023;6(1):39-46). DOI: 10.30901/2658-6266-2023-1-04
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. (sci. eds). Genetic Basis of Plant Breeding (Geneticheskiye osnovy selektsii rasteniy). In 4

- volumes. Minsk: Belarusian nauka; 2008-2014. [in Russian] (Генетические основы селекции растений. В 4 томах / науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. Минск: Беларуская навука; 2008-2014).
- Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. (sci. eds). Genetic Basis of Plant Breeding (Geneticheskiye osnovy seleksii rasteniy). In 4 volumes. Vol. 1-2. 2nd ed. Minsk: Belarusian nauka; 2018-2020. [in Russian] (Генетические основы селекции растений. В 4-х томах. Т. 1-2 / науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. 2-е изд. Минск: Беларуская навука; 2018-2020).
- Maltsev A.I. Atlas of the most important species of weeds of the USSR. Atlas vazhneyshikh vidov sornykh rasteniy SSSR). Vol. 1. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1937. [in Russian] (Мальцев А.И. Атлас важнейших видов сорных растений СССР. Т. 1. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1937).
- Maltsev A.I. Atlas of the most important species of weeds of the USSR. (Atlas vazhneyshikh vidov sornykh rasteniy SSSR). Vol. 2. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1939. [in Russian] (Мальцев А.И. Атлас важнейших видов сорных растений СССР. Т. 2. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1939).
- On Approving Priority Areas of Scientific and Technological Development and the List of Major Knowledge-Intensive Technologies. Executive Order of the President of the Russian Federation No. 529 dated June 18, 2024. *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*. 2024c. [in Russian] (Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий: Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529. *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2024c). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018> [дата обращения: 28.12.2024].
- On Approving the Program of development of the National Center for Plant Genetic Resources for 2023-2030 (Ob utverzhdenii Programmy razvitiya Natsional'nogo tsentra geneticheskikh resursov rasteniy na 2023–2030 gody): Order of the Government of the Russian Federation dated September 16, 2023 No. 2496-p. *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*. 2023. [in Russian] (Об утверждении Программы развития Национального центра генетических ресурсов растений на 2023-2030 годы: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 16.09.2023 № 2496-р. *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2023). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202309190026?ysclid=mau4c5d96m383812177> [дата обращения: 28.12.2024].
- On Approving the Food Security Doctrine of the Russian Federation (Ob utverzhdenii Doktriny proizvod'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii): Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020. *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*. 2020. [in Russian] (Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 № 20. *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2020). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202001210021> [дата обращения: 28.12.2024].
- On the National Center for Plant Genetic Resources (O Natsionalnom tsentre geneticheskikh resursov rasteniy): Decree of the President of the Russian Federation No. 44 dated February 8, 2022. *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*. 2022. [in Russian] (О Национальном центре генетических ресурсов растений: Указ Президента Российской Федерации от 08.02.2022 № 44. *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2022). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202202080014> [дата обращения: 28.12.2024].
- On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Perspective up to 2036 (O natsional'nykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda): Decree of the President of the Russian Federation No. 309 dated May 07, 2024. *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*. 2024b. [in Russian] (О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309. Официальный интернет-портал правовой информации. 2024b). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202405070015> [дата обращения: 28.12.2024].
- On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation (O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii): Decree of the President of the Russian Federation No. 145 dated February 28, 2024. *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*. 2024a. [in Russian] (О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2024a). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> [дата обращения: 28.12.2024].
- St. Petersburg scientists took part in the development of the law on bioresource collections (Peterburgskiy uchenyye prinyali uchastie v razrabotke zakona o bioresursnykh kollekttsiyakh). *Nauchnyy Peterburg = Scientific Petersburg*. 2024;December:10. [in Russian] (Петербургские ученые приняли участие в разработке закона о биоресурсных коллекциях. *Научный Петербург*. 2024;декабрь:10).
- The Weeds of USSR: A guide to the determination of the weeds of USSR. Vol. 1. B.A. Keller, V.N. Lubimenko, A.I. Malzev, B.A. Fedtschenko, R.J. Roshevitz, K.V. Kamensky (eds). Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ.; 1934a. [in Russian] (Сорные растения СССР: Руководство к определению сорных растений СССР. Т. 1 / под ред.: Б.А. Келлера, В.Н. Любименко, А.И. Мальцева, Б.А. Федченко, Р.Ю. Рожевиц, К.В. Каменского. Ленинград: Изд-во Академия наук СССР; 1934a).
- The Weeds of USSR: A guide to the determination of the weeds of USSR. Vol. 2-3. B.A. Keller, V.N. Lubimenko, A.I. Malzev, B.A. Fedtschenko, B.C. Schischkin, R.J. Roshevitz, K.V. Kamensky (eds). Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ.; 1934b. [in Russian] (Сорные растения СССР: Руководство к определению сорных растений СССР. Т. 2-3 / под ред.: Б.А. Келлера, В.Н. Любименко, А.И. Мальцева, Б.А. Федченко, Б.К. Шишкина, Р.Ю. Рожевиц, К.В. Каменского. Ленинград: Изд-во Академия наук СССР; 1934b).
- The Weeds of USSR: A guide to the determination of the weeds of USSR. Vol. 4. B.A. Keller, V.N. Lubimenko, A.I. Malzev, B.A. Fedtschenko, B.C. Schischkin, R.J. Roshevitz, K.V. Kamensky, M.M. Iljin (eds). Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ.; 1935. [in Russian] (Сорные растения СССР: Руководство к определению сорных растений СССР. Т. 4/ под ред.: Б.А. Келлера, В.Н. Любименко, А.И. Мальцева, Б.А. Федченко, Б.К. Шишкина, Р.Ю. Рожевиц, К.В. Каменского, М.М. Ильина. Москва; Ленинград: Изд-во Академия наук СССР; 1935).
- Video lecture entitled "Plant Genetic Resources: Scientific, Cultural and Historical Heritage". Presidential Library: official page of the group of the Russian social network VK. [in Russian] (Видеолекция «Генетические ресурсы растений: научное и культурно-историческое наследие». Президентская библиотека: официальная страница группы рос. соц. сети ВКонтакте). URL: https://vk.com/video-30658717_456239990?ysclid=ma75gcdfom381074322 Дата публикации: 08.11.2024.
- VIR – 130: Plant Genetic Resources: On the 130th anniversary of the establishment of the Bureau of Applied Botany under the Scientific Committee of the Ministry of Agriculture and State Property of the Russian Empire: Conference Proceedings; 2024 November 5-9; St. Petersburg, Russia; E.K. Khlestkina (gen. ed.). St. Petersburg: VIR; 2024. [in Russian] (ВИР – 130: Генетические ресурсы растений: к 130-летию со дня учреждения Бюро по прикладной ботанике при Ученом комитете Министерства земледелия и государственных имуществ Российской империи: материалы конференции; 5-9 ноября 2024 г.; Санкт-Петербург, Россия / под общ. ред. Е.К. Хлесткиной. Санкт-Петербург: ВИР; 2024).

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, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, 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, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, y.ukhatova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9366-0216>

Лоскутов Игорь Градиславович, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник, и.о. заведующего, отдел генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 19000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

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

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

Евгений Евгеньевич Радченко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий, отдел генетики, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Евгений Валерьевич Зуев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, отдел генетических ресурсов пшениц, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, e.zuev@vir.nw.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9259-4384>

Татьяна Васильевна Шеленга, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел биохимии и молекулярной биологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Александр Анатольевич Леншин, заведующий, аспирантура, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.lenshin@vir.nw.ru

Лилия Юрьевна Шипилина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория мониторинга биоресурсов и археоботаники, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, l.shipilina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7590-3173>

Наталья Альбертовна Швачко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая, лаборатория постгеномных исследований, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, n.shvachko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1958-5008>

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

Ирина Викторовна Котелкина, начальник, библиотечно-издательский отдел, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.kotielkina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2173-6175>

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>

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>

Igor G. Loskutov, Dr. Sci. (Biology), Associate Professor, Chief Researcher, Acting Head, Department of Oats, Rye, and Barley Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 19000 Russia, i.loskutov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9250-7225>

Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Chief 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>

Tatjana A. Gavrilenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Acting 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, <https://orcid.org/0000-0002-2605-6569>

Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Head, Department of Genetics, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Evgeny V. Zuev, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Wheat Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, e.zuev@vir.nw.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9259-4384>
Tatjana V. Shelenga, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Biochemistry and Molecular Biology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, tatianashelenga@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3992-5353>

Aleksandr A. Lenshin, Head, Postgraduate Studies, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.lenshin@vir.nw.ru

Liliya Yu. Shipilina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Bioresources Monitoring and Archaeobotany, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, l.shipilina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7590-3173>

Nataliya A. Shvachko, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head, Laboratory of Postgenomic Research, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, n.shvachko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1958-5008>

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>

Irina V. Kotelkina, Head, Library and Publishing Department, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.kotielkina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2173-6175>

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 20.11.2024; одобрена после рецензирования 17.01.2025; принята к публикации 05.02.2025.

The article was submitted on 20.11.2024; approved after reviewing on 17.01.2025; accepted for publication on 05.02.2025.

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

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

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

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), DOAJ, 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 the Russian Science Citation Index on eLIBRARY.RU platform, 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

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*

Корректоры: *С.В. Шувалов, И.В. Котелкина*

Компьютерная верстка: *Г.К. Чухин*

Адрес редакции:

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

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

Почтовый адрес редакции

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

Подписано в печать 24.03.2025.

Дата выхода в свет 31.03.2025.

Формат 70×100¹/₈.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 8,5. Тираж 30 экз. Заказ № 385/3. Бесплатно.

Издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный исследовательский центр

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР),
редакционно-издательский сектор ВИР

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

Отпечатано: ООО «Р-КОПИ»

Россия, 190000, Санкт-Петербург, пер. Гривцова, д. 6, литер Б

БИОТЕХНОЛОГИЯ
И СЕЛЕКЦИЯ
РАСТЕНИЙ

8(1), 2025