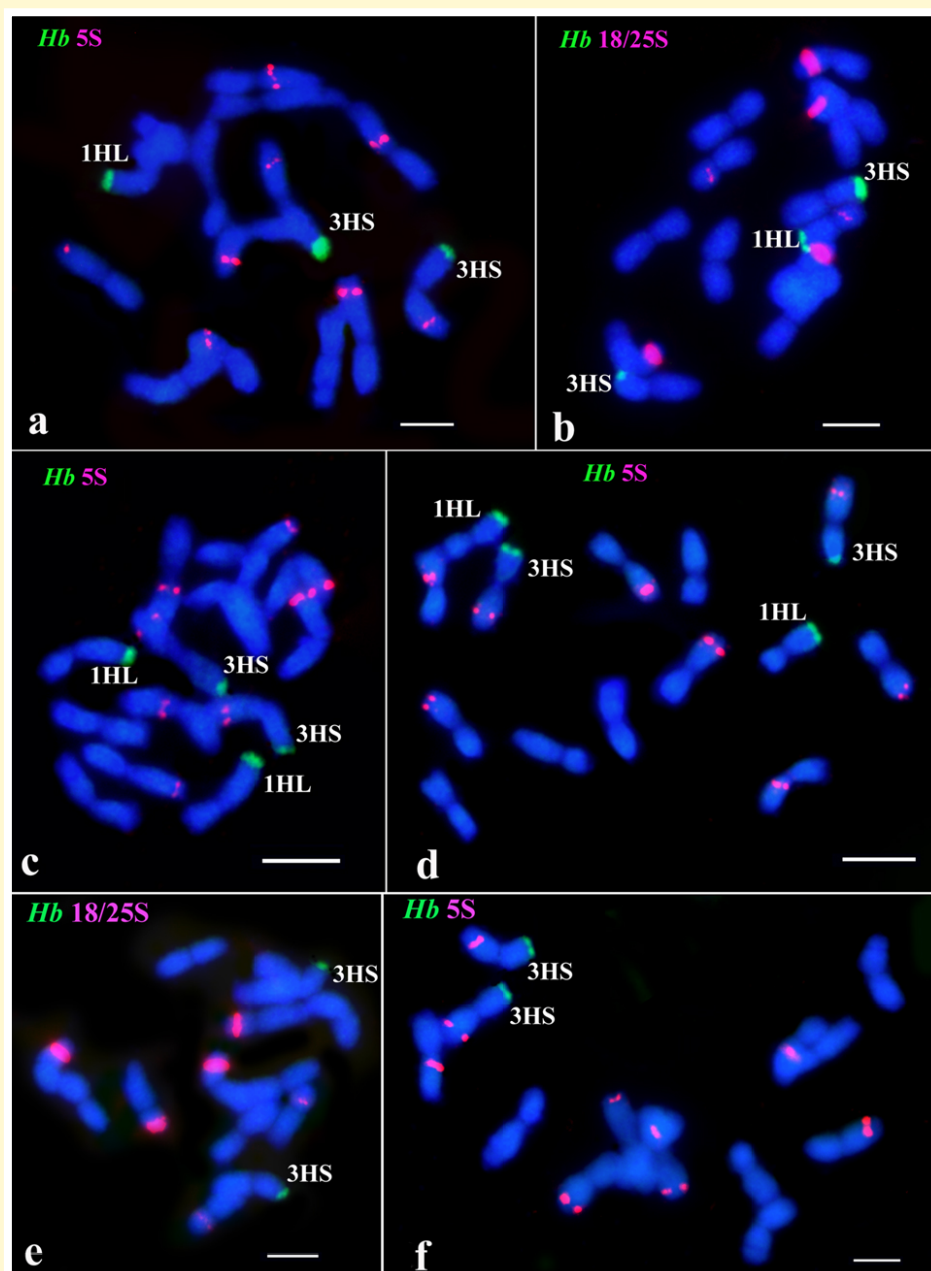


# БИОТЕХНОЛОГИЯ И СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ

8(4), 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(4)

ОСНОВАН В 2018 ГОДУ  
ПЕРИОДИЧНОСТЬ 4 РАЗА В ГОД

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

e-mail: pbi@vir.nw.ru

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

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

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4  
УДК: 573.6:631.527

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

## На обложке:

**Фото:** Идентификация генетического материала *Hordeum bulbosum* при отборе и репродукции в полевых условиях интрогрессивных линий (ИЛ) с рекомбинантной хромосомой 3HS и двумя рекомбинантными хромосомами (3HS+1HL) *H. vulgare*  
а – растение 1.4.1; б – растение 1.4.2; в – ИЛ 1.4.2.1 (3HS+1HL); д – ИЛ 1.4.2.1 после двукратной полевой репродукции; е – ИЛ 1.4.1.1 (3HS); ф – ИЛ 1.4.1.1 после трехкратной полевой репродукции

**Материалы к статье:** Пендинен Г.И., Чернов В.Е., Жаринов К.А. Новые интрогрессивные линии ярового ячменя, созданные на основе межвидовых гибридов *Hordeum vulgare* L. с *H. bulbosum* L. *Биотехнология и селекция растений*. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-03

SCIENTIFIC PEER REVIEWED JOURNAL

# PLANT BIOTECHNOLOGY AND BREEDING

2025, 8(4)

FOUNDED IN 2018  
PUBLISHED 4 TIMES ANNUALLY

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

e-mail: pbi@vir.nw.ru

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:

**Photo:** Identification of *H. bulbosum* genetic material during selection and reproduction of introgressive lines (ILs) with the recombinant chromosome 3HS and two recombinant chromosomes (3HS+1HL) of *H. vulgare* in the field  
a – plant 1.4.1; b – plant 1.4.2; c – IL 1.4.2.1 (3HS+1HL); d-IL 1.4.2.1 after two reproductions in the field; e – IL 1.4.1.1 (3HS); f – IL 1.4.1.1 after three reproductions in the field

**Materials for the article:** Pendinen G.I., Chernov V.E., Zharinov K.A. New introgressive lines of spring barley, which were obtained on the basis of interspecific hybrids between *Hordeum vulgare* L. and *H. bulbosum* L. *Plant Biotechnology and Breeding*. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-03

**Биотехнология и селекция растений**

**2025 Том 8 № 4**

**DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4**  
**<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.,  
член-корреспондент 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** (Россия)

**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., профессор РАН, академик РАН (Россия)  
А. В. Кильчевский – д.б.н., академик НАНБ (Беларусь)  
Н. А. Колчанов – д.б.н., академик РАН (Россия)  
В. Н. Корзун – д.б.н. (Германия)  
А. В. Кочетов – д.б.н., профессор РАН, академик 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 – к.с.-х.н. (Казахстан)  
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 – д.б.н. (Россия)  
Д. А. Афонников – д.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., член-корреспондент РАН (Россия)  
Т. А. Гасанова – к.с.-х.н. (Россия)  
С. В. Герасимова – к.б.н. (Россия)  
М. С. Гинс – д.б.н., профессор РАН, член-корреспондент 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., член-корреспондент 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. Кушнаренко – к.б.н. (Казахстан)  
И. Н. Леонова – д.б.н. (Россия)  
И. Е. Лихенко – д.с.-х.н. (Россия)  
В. В. Лиховской – д.с.-х.н. (Россия)  
П. Н. Мальчиков – д.с.-х.н. (Россия)  
Т. В. Матвеева – д.б.н. (Россия)  
Н. В. Мироненко – д.б.н. (Россия)  
И. В. Митрофанова – д.б.н., член-корреспондент РАН (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., академик НАН РК (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 4  
DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4  
<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.,  
Corr. Member of the RAS (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** (Russia)

### 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 of the RAS (Russia)  
S. I. Grib – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the NAS of Belarus (Belarus)  
G. I. Karlov – Dr. Sci. in Biol., Professor of the RAS, Full 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., Professor of the RAS, Full Member of the RAS (Russia)  
N. A. Kolchanov – Dr. Sci. in Biol., Full Member of the RAS (Russia)  
V. N. Korzun – Dr. Sci. in Biol. (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 – Cand. Sci. in Agricul. (Kazakhstan)  
A. A. Romanenko – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)  
V. Roychev – Dr. Sci. in Agricul. (Bulgaria)  
A. V. Ryndin – Dr. Sci. in Agricul., Full Member of the RAS (Russia)  
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 – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
E. E. Andronov – Dr. 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., Corr. Member of the RAS (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., Professor of the RAS, Corr. Member of the RAS (Russia)  
S. V. Goncharov – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
E. T. Ilnitskaya – Cand. Sci. in Biol. (Russia)  
R. N. Kalendar – Cand. Sci. in Biol. (Kazakhstan)  
N. N. Karpun – 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. Lihenko – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)  
V. V. Likhovskoi – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)  
P. N. Malchikov – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)  
T. V. Matveeva – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
N. V. Mironenko – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
I. V. Mitrofanova – Dr. Sci. in Biol., Corr. Member of the RAS (Russia)  
E. I. Mikhailova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
S. V. Osipova – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
V. N. Podorozhniy – Cand. Sci. in Agricul. (Russia)  
T. G. Prichko – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)  
T. A. Rozhmina – Dr. Sci. in Biol. (Russia)  
O. Yu. Shoeva – Cand. Sci. in Biol. (Russia)  
A. V. Smykov – Dr. Sci. in Agricul. (Russia)  
A. A. Soloviev – Dr. Sci. in Biol., Professor of the RAS (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., Full Member of the NAS RK (Kazakhstan)  
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., Corr. Member of the RAS (Russia)

## СОДЕРЖАНИЕ

ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА	5
<i>Е. К. Хлесткина</i> ВСТУПИТЕЛЬНАЯ СТАТЬЯ	
РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИИ	7
<i>Гаврилова В.А., Анисимова И.Н.</i> <i>Научная статья</i> Источники, признаковые коллекции и доноры для селекции подсолнечника	
<i>Кручина-Богданов И.В., Новикова Л.Ю., Шаухаров Р.А., Вишнякова М.А.</i> <i>Научная статья</i> Содержание и вязкость камеди в образцах гуара коллекции ВИР, выращенных в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области	17
<i>Пендинен Г.И., Чернов В.Е., Жаринов К.А.</i> <i>Научная статья</i> Новые интрогрессивные линии ярового ячменя, созданные на основе межвидовых гибридов <i>Hordeum vulgare</i> L. с <i>H. bulbosum</i> L.	29
<i>Сумина А.В., Полонский В.И., Гордеева Е.И., Молобекова К.А., Шоева О.Ю.</i> <i>Научная статья</i> Сравнительное исследование влияния температурного воздействия на биохимический и минеральный состав зерна почти-изогенных линий пшеницы, различающихся по антоциановой пигментации	46
<i>Ущачповский И.В., Шиманская Н.С., Серков В.А., Иванова С.В.</i> <i>Научная статья</i> Изменчивость хозяйственно ценных признаков конопли посевной в зависимости от региона возделывания	55
<i>Хатефов Э.Б., Ерохина А.В., Жук Е.А., Зайцев С.А., Керв Ю.А., Кибкало И.А.</i> <i>Научная статья</i> Урожайность и качество силоса диплоидного сорта «Радуга» и тетраплоидного сорта «Тетрасил» в зависимости от способа их консервации	68

## CONTENTS

FROM THE EDITOR IN CHIEF	5
<i>E. K. Khlestkina</i> INTRODUCTORY ARTICLE	
DEVELOPMENT OF MODERN BREEDING METHODS	7
<i>Gavrilova V.A., Anisimova I.N.</i> <i>Original article</i> Sources, trait-specific collections, and donors for sunflower breeding	
<i>Kruchina-Bogdanov I.V., Novikova L.Yu., Shaukharov R.A., Vishnyakova M.A.</i> <i>Original article</i> Gum content and viscosity in VIR guar accessions grown under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Region	17
<i>Pendinen G.I., Chernov V.E., Zharinov K.A.</i> <i>Original article</i> New introgressive lines of spring barley, which were obtained on the basis of interspecific hybrids between <i>Hordeum vulgare</i> L. and <i>H. bulbosum</i> L.	29
<i>Sumina A.V., Polonskiy V.I., Gordeeva E.I., Molobekova C.A., Shoeva O.Y.</i> <i>Original article</i> A comparative study of the influence of temperature on the biochemical and mineral composition of grain of near-isogenic wheat lines differing in anthocyanin pigmentation	46
<i>Ushchapovsky I.V., Shimanskaya N.S., Serkov V.A., Ivanova S.V.</i> <i>Original article</i> Variability of economically important traits of hemp depending on the region of cultivation	55
<i>Khatefov E.B., Erokhina A.V., Zhuk E.A., Zaitsev S.A., Kerv Yu.A., Kibkalo I.A.</i> <i>Original article</i> Yield and quality of silage of diploid variety "Raduga" and tetraploid variety "Tetrasil" depending on the method of their preservation	68

**Артемьева А.М., Гашкова И.В.,  
Игумнова М.М., Курина А.Б., Корнюхин Д.Л.,  
Соколова Д.В., Фатеев Д.А.,  
Хмелинская Т.В., Шумилина В.В.,  
Пискунова Т.М.** **80**

**Обзорная статья**

Коллекция мирового разнообразия  
овощных и бахчевых культур ВИР  
и основные направления ее использования

**Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Косарева О.С.,  
Хлесткина Е.К.** **95**

**Обзорная статья**

Использование клоновой коллекции  
картофеля ВИР в решении приоритетных  
задач отечественной селекции  
и исследований генетического разнообразия  
клубнеобразующих видов *Solanum* L.

**Artemyeva A.M., Gashkova I.V.,  
Igumnova M.M., Kurina A.B., Korniyukhin D.L.,  
Sokolova D.V., Fateev D.A., Khmelinskaya T.V.,  
Shumilina V.V., Piskunova T.M.** **80**

**Review article**

VIR collection of the global diversity of  
vegetable and cucurbit crops and the main  
directions of its use

**Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kosareva O.S.,  
Khlestkina E.K.** **95**

**Review article**

The use of the VIR potato clone collection  
in solving priority problems of domestic  
breeding and research into the genetic  
diversity of tuber-forming species of  
*Solanum* L.

**МЕТОДЫ БИОТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЕКЦИИ  
И СЕМЕHOBOДСТВЕ РАСТЕНИЙ** **106**

**Барабанов И.В., Васильева М.В.,  
Жидяева С.В., Рахмангулов Р.С.**

**Научная статья**

Частные аспекты культивирования  
львиного зева *Antirrhinum majus* L.  
в условиях *in vitro*

**Курина А.Б., Асланова А.А., Козарь Е.В.,  
Домблидес Е.А.** **118**

**Научная статья**

Полиморфизм линий удвоенных гаплоидов  
репы листовой *Brassica rapa* L., полученных  
в культуре изолированных микроспор *in vitro*

**BIOTECHNOLOGY TECHNIQUES IN PLANT BREEDING  
AND SEED PRODUCTION** **106**

**Barabanov I.V., Vasilyeva M.V., Zhidiyeva S.V.,  
Rakhmangulov R.S.**

**Original article**

Particular aspects of snapdragon  
*Antirrhinum majus* L. *in vitro* cultivation

**Kurina A.B., Aslanova A.A., Kozar E.V.,  
Domblides E.A.** **118**

**Original article**

Polymorphism of leaf turnip *Brassica rapa* L.  
doubled haploid lines produced in isolated  
microspore *in vitro* culture

**ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ** **127**

**Бемова В.Д.**

**Обзорная статья**

Особенности синтеза картамина в соцветиях  
сафлора красильного *Carthamus tinctorius* L.

**Федорова К.А., Старовойтова Т.Е.,  
Швачко Н.А.** **136**

**Обзорная статья**

*Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. как  
важный генетический ресурс для селекции  
пшеницы

**STUDY OF PLANT GENETIC RESOURCES USING  
MOLECULAR GENETICS METHODS** **127**

**Bemova V.D.**

**Review article**

Features of carthamin synthesis in inflorescences  
of safflower *Carthamus tinctorius* L.

**Fedorova K.A., Starovoitova T.E.,  
Shvachko N.A.** **136**

**Review article**

*Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. as an  
important genetic resource for wheat breeding

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ** **150**

**Нижников А.А., Бузовкина И.С.,  
Хлесткина Е.К., Кочетов А.В.**

**Краткое сообщение**

К юбилею видного деятеля науки  
в области генетики и биотехнологии  
растений профессора СПбГУ  
Людмилы Алексеевны Лутовой

**BRIEF COMMUNICATIONS** **150**

**Nizhnikov A.A., Buzovkina I.S.,  
Khlestkina E.K., Kochetov A.V.**

**Brief communication**

On the anniversary of a prominent scientist in  
the field of plant genetics and biotechnology,  
Professor of St. Petersburg State University  
Lyudmila Alekseevna Lutova



***Уважаемые читатели!***

В уходящем году стартовали несколько крупных Национальных проектов, один из которых посвящен биоэкономике. Трудно переоценить значимость растительного сырья для широкого спектра отраслей промышленности. Особым вызовом для селекционеров и биотехнологов является создание сортов, дающих не только высокий выход сырья, но и определяющих его подходящие технические свойства.

Исследованию влияния генотипа и среды на биохимический состав и качество сырья различных культур непродовольственного назначения посвящена серия работ, публикуемых в настоящем номере.

Так в статье И.В. Кручины-Богданова с соавторами представлены результаты оценки содержания и вязкости камеди в различных образцах гуара, выращенных в контрастных условиях – в условиях полива и под действием засухи. А.В. Сумина с соавторами оценили влияние температурного режима на биохимический и минеральный состав зерна линий пшеницы, отличающихся по генам биосинтеза антоцианов. И.В. Ущাপовский

с соавторами исследовали изменчивость конопли посевной по хозяйственно-ценным признакам в зависимости от региона возделывания. Э.Б. Хатефов с соавторами оценили качество силоса в разных условиях консервации у кукурузы, отличающейся плоидностью генома. Результаты представленных работ представляют ценность для селекционных программ, направленных на разработку сортов и сортовых технологий, нацеленных на дальнейшее производство сырья с заданными свойствами.

Несмотря на широкую представленность синтетических красителей возрастает спрос на природные красители из растительного сырья для производства экологически чистой продукции в пищевой, косметической, парфюмерной и других отраслях промышленности. В связи с этим интерес представляет публикуемая обзорная статья В.Д. Бемовой об особенностях синтеза картамина в соцветиях сафлора красильного.

Другой из стартовавших в 2025 году Национальных проектов непосредственно касается технологического обеспечения продовольственной безопасности. В основе научно-технологических цепочек, приводящих к созданию продуктов питания растительного происхождения – коллекции генетических ресурсов растений. Как из многих тысяч образцов, хранящихся в коллекциях, наиболее эффективно выбирать источники для селекционных программ и модели для сравнительных генетических, геномных и омиксных исследований? Алгоритм управления коллекциями ГРР и взаимодействии с организациями-получателями материалов образцов, а также анализ запросов пользователей за последние пять лет представлены в публикуемых работах Рогозиной с соавторами, выполненных на картофеле, В.А. Гавриловой и И.Н. Анисимовой на подсолнечнике и А.М. Артемьевой с соавторами, посвященной овощным и бахчевым культурам.

Обращает на себя внимание востребованность пользователями межвидовых гибридов, что отмечено в работе Е.В. Рогозиной с соавторами для картофеля. Исследованию межвидовых гибридов ячменя и созданию на их основе интрогрессивных линий посвящена публикуемая статья Г.И. Пендинен с соавторами. В обзоре К.А. Федоровой с соавторами уделяется внимание виду *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. как важному резервуару генов для селекции пшеницы.

Среди генетических линий не меньшую ценность для дальнейших фундаментальных и прикладных исследований представляют и рекомбинантные гомозиготные линии, полученные через создание удвоенных гаплоидов. Сообщение А.Б. Куриной с соавторами посвящено сравнительной оценке таких линий, полученных на основе гибрида F<sub>1</sub> репы листовой.

Традиционно в нашем издании уделяется внимание методическим аспектам работы с различными культурами в условиях *in vitro*. Для настоящего выпуска И.В. Барабанов с соавторами представили методические наработки для культивирования *in vitro* львиного зева.

Дорогие друзья, редакция журнала поздравляет с юбилеем выдающегося ученого и педагога, ведущего специалиста в области биотехнологии растений профессора Людмилу Алексеевну Лутову! В выпуске представлена публикация о деятельности юбиляра. Желаем Людмиле Алексеевне дальнейших творческих успехов в научной и педагогической работе, энергии, крепкого здоровья, а также развития возглавляемой научной школе!

Главный редактор,  
член-корреспондент РАН  
Е.К. Хлесткина

Научная статья

УДК 633.521:633.854:575.1

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-010



## Источники, признаковые коллекции и доноры для селекции подсолнечника

В. А. Гаврилова, И. Н. Анисимова

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

**Автор, ответственный за переписку:** Вера Алексеевна Гаврилова, v.gavrilova@vir.nw.ru

Для решения задачи создания отечественных конкурентоспособных гибридов подсолнечника, адаптированных к меняющимся условиям внешней среды, необходимо активное вовлечение в селекционные программы нового исходного материала, источник которого – материалы из коллекции ВИР, насчитывающей 2300 образцов подсолнечника в постоянном каталоге. Одним из целевых индикаторов Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы является достижение к 2030 году уровня самообеспеченности семенами отечественных гибридов подсолнечника не менее 75%. Для подбора исходных форм для селекционных программ по созданию гетерозисных гибридов и активного их включения в исследования необходимы: концентрированные сведения о потенциально наиболее востребованных образцах и достаточное количество семян таких образцов в активной коллекции. В настоящей статье представлены сведения об образцах подсолнечника, предоставленных по заявкам в период 2020–2025 годов, осуществлен анализ оценочных данных генофонда подсолнечника, полученных в условиях Краснодарского края на Кубанской опытной станции – филиале ВИР за период 2019–2025 годов. В качестве предложений для получателей материалов коллекции составлены признаковые коллекции подсолнечника, снабженные дополнительной информацией о данных, полученных при использовании диагностических ДНК-маркеров. В статье представлены источники раннеспелости и ультрараннеспелости подсолнечника, источники короткостебельности, крупноплодности, доноры устойчивости к ложной мучнистой росе, включая образцы с пирамидами генов устойчивости, раннеспелые линии – носители гена восстановления фертильности пыльцы *Rf1*, а также образцы, обладающие комплексом хозяйственно ценных признаков, например, сочетание раннеспелости, короткостебельности или крупноплодности со способностью восстанавливать фертильность пыльцы ЦМС РЕТ1. Сформированная активная коллекция включает признаковые коллекции по короткостебельности: 40 линий с высотой растения до 80 см, и по крупноплодности: 90 образцов для селекции отечественных сортов и гибридов кондитерского направления. Представленные сведения призваны облегчить выбор селекционерами необходимого исходного материала в период заявочной активности.

**Ключевые слова:** *Helianthus annuus* L., линии, раннеспелость, короткостебельность, крупноплодность, устойчивость к ложной мучнистой росе, молекулярные маркеры, гены.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0009 «Активная коллекция сельскохозяйственных растений как основа обеспечения селекционных и исследовательских программ Российской Федерации качественным исходным материалом и моделями для сравнительных исследований» Авторы благодарят доктора биологических наук, члена-корреспондента РАН Елену Константиновну Хлесткину за ценные замечания и обсуждение в ходе подготовки работы.

**Для цитирования:** Гаврилова В.А., Анисимова И.Н. Источники, признаковые коллекции и доноры для селекции подсолнечника. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):7-16. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-010

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.

© Гаврилова В.А., Анисимова И.Н., 2025

## Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o10

## Sources, trait-specific collections, and donors for sunflower breeding

Vera A. Gavrilova, Irina N. Anisimova

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

**Corresponding author:** Vera A. Gavrilova, v.gavrilova@vir.nw.ru

To address the challenge of developing competitive domestic sunflower hybrids adapted to changing environmental conditions, it is essential to actively incorporate new source material into breeding programs. This source material is available in the VIR collection, which contains 2,300 sunflower accessions in the permanent catalog. One of the target indicators of the Federal Scientific and Technical Program for Agricultural Development for 2017-2030 is achieving a level of self-reliance in seeds for domestic sunflower hybrids of at least 75% by 2030. In order to select source material for breeding programs on developing heterotic hybrids and to actively incorporate them into studies, it is necessary to have a comprehensive information on the most potentially in-demand accessions and a sufficient amount of seeds of these accessions in the active collection. This article presents the information on sunflower accessions provided upon request in 2020-2025. This article presents information on sunflower accessions submitted upon request in the period 2020-2025, and an analysis of estimated data on the sunflower gene pool obtained in the Krasnodar Region at the Kuban Experimental Station – a branch of VIR for the period 2019-2025. The trait-specific collections supplied with additional information on the data obtained using diagnostic DNA markers have been compiled as proposals to recipients of the collection materials. The article presents sources of early maturity and ultra-early maturity of sunflower, sources of short stems, large fruits, donors of resistance to downy mildew, including samples with pyramids of resistance genes, early maturing lines - carriers of the pollen fertility restoration gene Rfl, as well as samples possessing a complex of economically valuable traits, for example, a combination of early maturity, short stems or large fruits with the ability to restore pollen fertility CMS PET1. The established active collection includes trait-specific collections for dwarfness: 40 lines with plant height of up to 80 cm, and for large seed size: 90 accessions for breeding domestic cultivars and hybrids for confectionery purposes. This information is intended to facilitate breeders in selecting the necessary source material during the application process.

**Keywords:** *Helianthus annuus* L., lines, early maturity, dwarfness trait, large-seed size trait, downy mildew resistance, molecular markers, genes

**Acknowledgements:** The research was performed within the framework of the State Assignment according to the Theme Plan of VIR, Project No. FGEM FGEM-2025-0009 “An active collection of agricultural plants as a basis for providing breeding and research programs of the Russian Federation with high-quality source material and models for comparative research”. The authors are grateful to Dr., Prof., Corresponding Member of the RAS Elena K. Khlestkina for valuable comments and discussions during the preparation of this review.

**For citation:** Gavrilova V.A., Anisimova I.N. Sources, trait-specific collections, and donors for sunflower breeding. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):7-16. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o10

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.

© Gavrilova V.A., Anisimova I.N., 2025

## Введение

Полевая культура подсолнечника как масличного растения возникла в 50-х годах XIX столетия в Воронежской и Саратовской губерниях после изобретения Д.С. Бокаревым в 1829 году способа получения масла из семян. Саратовская и Воронежская губернии долгое время оставались основными производителями подсолнечного масла. В начале XX века возделывание подсолнечника распространяется по всему югу России, и к началу 50-х годов, благодаря выдающимся селекционерам В.С. Пустовойту, Л.А. Жданову, В.И. Щербине, К.И. Прохорову, повсеместно в зоне возделывания подсолнечника высеваются высокомасличные, высокоурожайные сорта (Tavolzhanskiy, 2000). В XXI веке перед селекционерами страны стоит задача создания гибридов подсолнечника на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) с использованием эффекта гетерозиса. При этом подсолнечник становится широко востребованной высокоурожайной культурой, и зона его возделывания распространяется в более северные регионы РФ: Тамбовскую, Брянскую, Липецкую, Орловскую, Пензенскую, Самарскую области. В связи с этим, необходимы гибриды более короткого вегетационного периода и, соответственно, источники раннеспелости. Для получения промышленных гетерозисных гибридов подсолнечника нужны линии с ЦМС и линии восстановители фертильности пыльцы (Dimitrijevic, Horn, 2018; Horn et al., 2003; 2019). Такие линии были созданы на основе стародавних сортов и образцов коллекции ВИР нашими предшественниками (Anashchenko, Duka, 1985) и в наших предыдущих исследованиях (Gavrilova et al., 2021; Anisimova et al., 2024). В 2020-2024 годах мы уделили внимание короткостебельным линиям, поскольку эффект гетерозиса у гибридов проявляется не только по урожайности, но и по высоте растения. Для создания гибридов с оптимальной высотой растения 150-170 см необходимы линии, высота растения которых составляет 60-80 см (Ramos et al., 2013; Anisimova et al., 2024).

В последние годы спрос сельскохозяйственного производства на семена крупноплодного подсолнечника резко возрос. Такое повышение связано с увеличением доли использования семян подсолнечника в кондитерской и пищевой промышленности. Ядра семян крупноплодного подсолнечника содержат 22-30% белка, отличаются пониженным содержанием масла и насыщенных жирных кислот, что способствует снижению уровня холестерина, а также имеют повышенное содержание железа и служат источником калия, цинка, витаминов Е и В1, пищевой клетчатки (Bochkovoy, Pivnenko, 2007; Hladni, Miladinović, 2019). Все эти качества с успехом позволяют использовать ядра крупноплодного подсолнечника в кондитерских целях, заменяя дорогостоящие орехи, кунжут, арахис.

Одной из наиболее опасных болезней подсолнечника является ложная мучнистая роса (ЛМР), вызываемая

оомицетом *Plasmopara halstedii* (Farl) Berl. & De Toni. Каждый год 30-70% урожая погибает в результате заражения растений этим патогеном (Novotelnova, 1966; Gavrilova et al., 2021). В мировой литературе описано более 45 физиологических рас возбудителя ЛМР. Патоген постоянно эволюционирует, что приводит к появлению новых более агрессивных рас (Ramazanova, Antonova, 2019). К настоящему времени известно 37 генов (*Pl*), определяющих устойчивость подсолнечника к *P. halstedii* (Qi et al., 2016; Pecrix et al., 2018; Ma et al., 2019). Гены *Pl<sub>arg</sub>*, *Pl<sub>1</sub>*, *Pl<sub>6</sub>*, *Pl<sub>8</sub>* считаются наиболее эффективными. Ген *Pl<sub>arg</sub>* контролирует устойчивость к восьми расам патогена: 100, 304, 314, 334, 703, 704, 710, 714 (Vear et al., 2010; Wieckhorst et al., 2010). В Краснодарском крае до недавнего времени были распространены расы 330, 710, 730 (Antonova et al., 2011). С.А. Рамазанова и Т.С. Антонова (Ramazanova, Antonova, 2019) сообщали о распространении в последние годы новых рас 334, 713 и 733. Создание исходного материала с генами устойчивости к ЛМР для селекции отечественных сортов и гибридов позволит увеличить валовый сбор семян подсолнечника.

Объединение образцов коллекции, характеризующихся определенным селекционно ценным признаком по результатам многолетнего изучения, удобно для использования как в селекционных программах, так и для дальнейших исследований с использованием методов классической и молекулярной генетики. Идея создания признаковых коллекций на основе генетических ресурсов сельскохозяйственных растений, хранящихся в ВИР, принадлежит доктору биологических наук А.Ф. Мережко (Merezhko, 1994). По его мнению, в каждую такую коллекцию следует включать две группы образцов: образцы с искомым уровнем признака и образцы, отражающие спектр внутривидового разнообразия по изучаемому признаку (Merezhko, 1994). При формировании признаковых коллекций мы включаем в них образцы только с селекционно значимым уровнем признака.

## Источники раннеспелости подсолнечника

Генетические ресурсы культурного подсолнечника (*Helianthus annuus* L.), сохраняемые в коллекции ВИР, составляют 2300 образцов. За истекшие пять лет в коллекцию привлечены 20 образцов. Они поступили от оригинаторов, подавших свои селекционные достижения в ФГБНУ «Госсорткомиссия» и одновременно представивших семена своих сортов и гибридов для включения в коллекцию ВИР. Сортообразцы прошли регистрацию в отделе интродукции ВИР, затем поступили в отдел генетических ресурсов масличных и прядильных культур. В постоянный каталог включены 18 новых отечественных сортов, а также две линии с ЦМС и их фертильные аналоги. Гибриды F<sub>1</sub> мы оставляем во временном каталоге и с номером интродукции передаем на оперативное депозитарное хранение. Ежегодно на полях Кубанской опытной станции (ОС) – филиала ВИР высевается согласно

Методическим указаниям ВИР (Anashchenko, 1976) и оценивается по продолжительности вегетационного периода и поражаемости патогенами около 600 образцов в сравнении с районированным в зоне возделывания сортом 'Мастер'. Продолжительность периода всходы-цветение сорта 'Мастер' в 2019-2025 годах составляла 60-64 дня, период всходы-созревание – 100-104 дня (таблица). В течение пяти лет оценена вся коллекция подсолнечника. Восемьдесят образцов из 2300 зацвели раньше стандарта на 11-28 дней, из них 26 образцов (пять сортов и 21 линия) оказались ультраранними (продолжительность периода всходы-цветение короче, чем у стандарта на 20 дней и более) и рано созревающими (всходы-созревание – 68-74 дня). Этот материал будет востребован селекционерами при создании сортов для северной зоны

возделывания культуры. Среди ультраранних имеются 18 высокоинбредных карликовых линий и 10 из них с генами восстановления фертильности пыльцы (рис. 1). Они необходимы для получения отцовских форм промышленных гибридов F<sub>1</sub> и будут предоставлены получателям, ведущим селекцию с использованием эффекта гетерозиса. Наиболее перспективны линии ВИР 631, ВИР 772, ВИР 754, ВИР 794, ВИР 819, обладающие доминантным аллелем гена восстановления фертильности пыльцы *Rf1* в гомозиготном состоянии (Anisimova et al., 2024). Эти данные получены при скрещивании с линиями с ЦМС в полевых исследованиях и с использованием ПЦР-маркеров HRG02, PPR621.5R, 67N04\_P\_170, SRF833 (Anisimova et al., 2024).

**Таблица. Источники раннеспелости подсолнечника, выделенные в результате исследований в 2019-2025 годах**

Краснодарский край, Кубанская опытная станция – филиал ВИР

**Table. Sunflower early maturity sources isolated in 2019-2025**

Krasnodar Region, Kuban Experiment Station – a branch of VIR

№ п.п./ No.	№ по каталогу ВИР/ VIR Cat. No.	Название/ Source name	Происхождение/ Origin	Год репродукции/ Year of reproduction	Всходы-цветение, дни/ Emergence of seedlings-flowering, days	Всходы-цветение, ±St*/ Emergence of seedlings-flowering, ±St*	Всходы-созревание, дни/ Emergence of seedlings-maturity, days	Всходы-созревание, ±St*/ Emergence of seedlings-maturity, ±St*	Высота растения (см)/ Plant height, cm
1	1039	GIRASOL PURPUREO	Италия	2021	39	-21			48±2,0
				2025	37	-23	67	-34	51±1,4
2	2020	Кировский	Кировская обл., РФ	2024	52	-12	-	-	108±1,9
				2025	49	-11	79	-22	134±1,7
3	2115	Воронежский 109	Воронежская ОС ВНИИМК, РФ	2019	47	-15			124±1,0
				2023	50	-14			124±1,3
				2025	49	-16	84	-17	121±0,9
4	2776	ВИР 136	Спутник, РФ	2021	47	-13	81	-19	85±0,4
				2025	47	-18	81	-20	77±0,7
5	3231	SV 7998232	Швеция	2019	46	-16	-	-	80±0,6
				2024	45	-19	-	-	66±0,4
6	3303	ВИР 227	Алжир	2023	49	-15	-	-	125±0,8
				2024	45	-19	-	-	110±1,3
7	3420	ВИР 648	Аргентина	2021	46	-14	81	-19	67±2,1
				2025	48	-17	78	-23	53±1,4
8	3440	ВИР 631	гибрид Sunbred 265, Франция	2021	35	-25	74	-26	57±1,2
				2025	44	-21	74	-27	83±1,5
9	3522	ВИР 692	Краснодарский край, РФ	2019	42	-20	-	-	68±0,6
				2021	42	-18	81	-19	67±1,7
				2025	43	-17	70	-31	66±0,9

Таблица. Продолжение

№ п.п./ No.	№ по каталогу ВИР/ VIR Cat. No.	Название/ Source name	Происхождение/ Origin	Год репродукции/ Year of reproduction	Всходы-цветение, дни/ Emergence of seedlings-flowering, days	Всходы-цветение, ±St*/ Emergence of seedlings-flowering, ±St*	Всходы-созревание, дни/ Emergence of seedlings-maturity, days	Всходы-созревание, ±St*/ Emergence of seedlings-maturity, ±St*	Высота растения (см)/ Plant height, cm
10	3553	‘Мастер’ Сорт стандарт	ВНИИМК, г. Краснодар, РФ	2019	62		102		205±3,4
				2021	60		100		168±4,3
				2023	64		104		190±1,5
				2024	64		104		170±3,1
				2025	65		101		200±3,5
11	3559	ВИР 772	и-588386, SAM 462, Финляндия	2021	37	-23	73	-27	46±1,5
				2025	37	-28	69	-32	47±0,3
12	3592	ВИР 762	и-576410, США	2021	38	-22	74	-26	80±1,8
				2025	48	-17	73	-28	83±0,7
13	3597	ВИР 793	Краснодарский край, РФ	2021	39	-21	74	-26	70±1,9
				2025	41	-24	70	-31	95±1,2
14	3630	ВИР 817	и-576410, США	2021	36	-24	74	-26	63±1,8
				2025	38	-27	67	-34	53±1,4
15	3645	ВИР 818	и-576410, США	2021	39	-21	74	-24	54±1,9
				2025	49	-16	81	-20	65±1,1
16	3647	ВИР 833	и-576407, США	2021	36	-24	75	-25	65±2,2
				2025	45	-20	73	-28	69±1,2
17	3649	ВИР 826	к-1034, Италия	2021	45	-15	80	-20	71±2,0
				2025	58	-7	83	-18	75±0,9
18	3675	ВИР 839	Краснодарский край РФ	2021	32	-28	71	-29	57±1,1
				2025	39	-26	68	-33	56±0,8
19	3676	ВИР 840	Краснодарский край, РФ	2021	41	-19	74	-26	62±4,7
				2025	43	-22	72	-29	55±0,5
20	3693	ВИР 773	Краснодарский край, РФ	2021	40	-20	75	-25	59±1,6
				2025	42	-23	71	-30	57±0,9
21	3702	ВИР 789	Краснодарский край, РФ	2021	35	-25	74	-26	56±2,1
				2025	37	-28	65	-36	47±1,1
22	3714	ВИР 172Б	к-705, Узбекистан	2021	47	-13	81	-19	114±2,1
				2025	52	-13	82	-19	112±1,8
23	3718	ВЕКТОР	Сибирская ОС ВНИИМК	2019	51	-11	81	-19	136±2,0
				2023	50	-14	82	-19	161±3,2
24	3761	ВИР 819	ВИР114 × к-1039	2021	38	-22	74	-26	75±1,6
				2025	39	-21	61	-40	80±1,5
				2025	41	-24	68	-33	73±1,2
25	3797	ВИР 794	Краснодарский край, РФ	2021	43	-17	73	-27	62±1,2
				2025	38	-22	60	-41	57±0,8
26	3824	ВИР 754	Краснодарский край, РФ	2021	35	-25	74	-26	69±2,7
				2023	42	-22	60	-41	71±1,5
				2025	40	-25	68	-33	72±0,4
27	3905	УСП Икорец	Воронежск. обл. НИИСХ им. Докучаева, РФ	2024	48	-16	65	-36	102±4,1
				2025	49	-11	75	-26	

Примечание: \*±St – отклонение (в абсолютных значениях) от аналогичного показателя у сорта-стандарта ‘Мастер’.

Подчеркиванием выделены линии – доноры гена *Rfl*

Note: \*±St – standard deviation (in absolute values) from the analogous indicator for the standard cultivar ‘Master’.

Donor lines of the *Rfl* gene are underlined

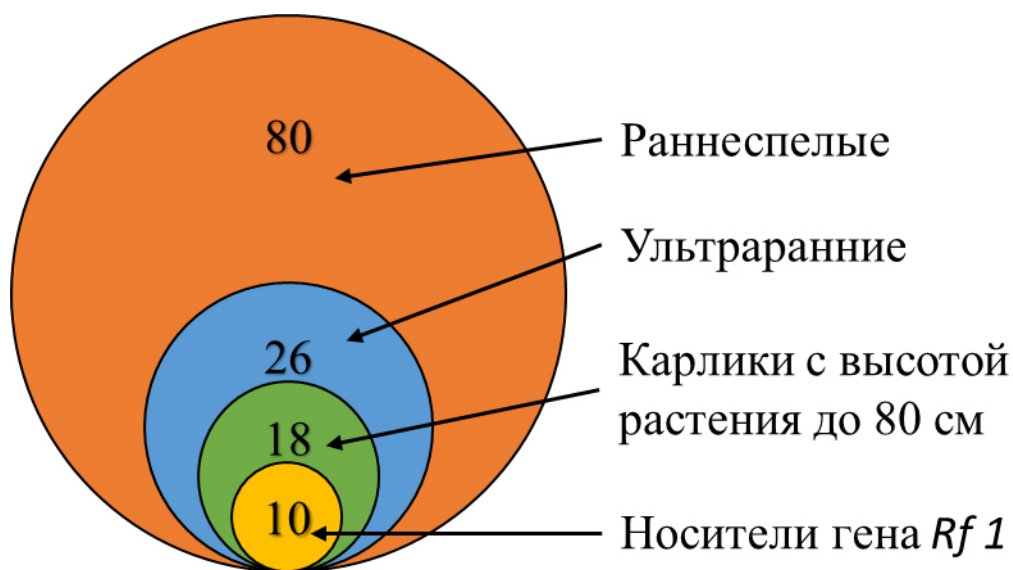


Рис. 1. Источники раннеспелости подсолнечника в коллекции ВИР

Fig. 1. Sunflower early maturity sources in the VIR collection

### Признаковая коллекция короткостебельных линий

Известно, что раннеспелость у подсолнечника зависит не от высоты растения, а от числа листьев: чем больше листьев на стебле, тем больше времени уходит у растения на их формирование и тем длиннее период от всходов до начала формирования корзинки и начала цветения (Tavolzhanskiy, 2000).

В результате многолетних исследований сформирована признаковая коллекция из 40 короткостебельных линий с высотой растения до 80 см. Среди короткостебельных отмечены как раннеспелые линии, перечисленные выше (см. табл. 1), так и линии, равные стандарту по продолжительности вегетационного периода. Линии фенотипированы по таким признакам, как высота растения, число листьев, длина междоузлия, и генотипированы при помощи CAPS-маркера полудоминантного аллеля *Rht1*. Выявлены две линии – ВИР171 и ВИР434, у которых в гене *HaDellal* идентифицирована миссенс-мутация, ассоциированная с карликовым фенотипом (Anisimova et al., 2024).

### Источники крупноплодности и генов *Rf*

Крупноплодный подсолнечник отличается от сортов масличного использования высокой массой 1000 семян (более 80 г) и повышенной лужистостью (Bochkovoy, Pivnenko, 2007). Вся коллекция подсолнечника оценена по размеру семян и массе 1000 семян. После трехлетнего изучения выбраны образцы, у которых сохраняется признак крупноплодности, масса 1000 составляет 90 г

и выше. Таким образом, признаковая коллекция крупноплодного подсолнечника, включает 90 образцов. Среди них есть стародавние отечественные сорта: ‘Саратовский 82’, ‘Алексеевский крупноплодный 2’, ‘Гяр-гяр’, ‘Запорожский кондитерский’. Выявлены ранние (к-2835), низкорослые (к-1589, к-2835, к-3865) образцы, лучшие по всем изученным признакам и массе 1000 семян, которые могут быть использованы в качестве исходного материала при создании сортов. Сорта селекции ВНИИМК ‘СПК’ и ‘Лакомка’, а также образец к-3782 из Китая были лучшими не только по признаку крупноплодности, но и по устойчивости к ложной мучнистой росе (Gavrilova et al., 2023). С помощью диагностических молекулярных маркеров у 35 крупноплодных образцов подсолнечника идентифицированы носители стерильного типа цитоплазмы и доминантного аллеля *Rf1*. Наибольший интерес для селекции представляют образцы к-3879 (LSK-114), к-3878, к-3875, к-3868 (‘LSK-15’), к-3865 (‘Sprout-2’), к-3745, к-3742, к-3740 (Местный), к-3874, к-3864 и к-3805, сочетающие крупность семян с наличием доминантного аллеля гена *Rf1*, что указывает на их способность восстанавливать фертильность пыльцы (Gavrilova et al., 2023).

### Доноры устойчивости к ложной мучнистой росе подсолнечника

В состав признаковой коллекции по устойчивости к ЛМР входят 39 линий без симптомов поражения в течение сезонов 2016 и 2018 годов и три линии, устойчивые к патогену в течение трех лет (Gavrilova et al., 2021). Линии генотипированы при помощи ПЦР-маркеров генов, детерминирующих устойчивость к большому

числу рас *P. halstedii*, которые были отобраны на основании данных литературы (Bouzidi et al., 2002; Radwan et al., 2004; Imerovski et al., 2014; Qi et al., 2016; Ma et al., 2019; Pecrix et al., 2018; Ramazanova et al., 2020). В результате наших исследований выявлены маркеры генов  $Pl_{arg}$ ,  $Pl_5$ ,  $Pl_8$  у линии ТА 716-18. Идентифицированы 15 линий с маркером гена  $Pl_6$ , четыре линии с маркером аллеля устойчивости в локусе  $Pl_5/Pl_8$  и 13 линий с маркером гена  $Pl_8$  (Gavrilova et al., 2021). Перечисленные линии относятся к разным группам спелости, среди них имеются формы с ЦМС, закрепители стерильности и восстановители фертильности пыльцы.

### Заявки на образцы подсолнечника, направляемые в ВИР, и их выполнение

За период 2020-2025 годов по заявкам предоставлено 282 образца подсолнечника различного статуса. Наибольшее количество образцов затребовано в 2025 году

(рис. 2). Заявки получены как от государственных селекционных учреждений, так и от компаний – участников Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства Российской Федерации на 2017-2030 годы (On approval of the Federal..., 2017; Subprograms of the Federal..., 2025). Образцы подсолнечника использованы в образовательных процессах для обучения студентов в высших учебных заведениях и в исследовательских проектах научных учреждений (рис. 3). Самыми востребованными были линии подсолнечника (130), в первую очередь линии, обладающие генами восстановления фертильности пыльцы и устойчивостью к основным патогенам культуры. Это закономерно, поскольку перед селекционерами страны стоит задача создания отечественных гибридов подсолнечника с использованием эффекта гетерозиса. Сорты представлены в основном образцами с крупными семенами, которые используются в качестве исходного материала для селекции кондитерского подсолнечника (рис. 4).

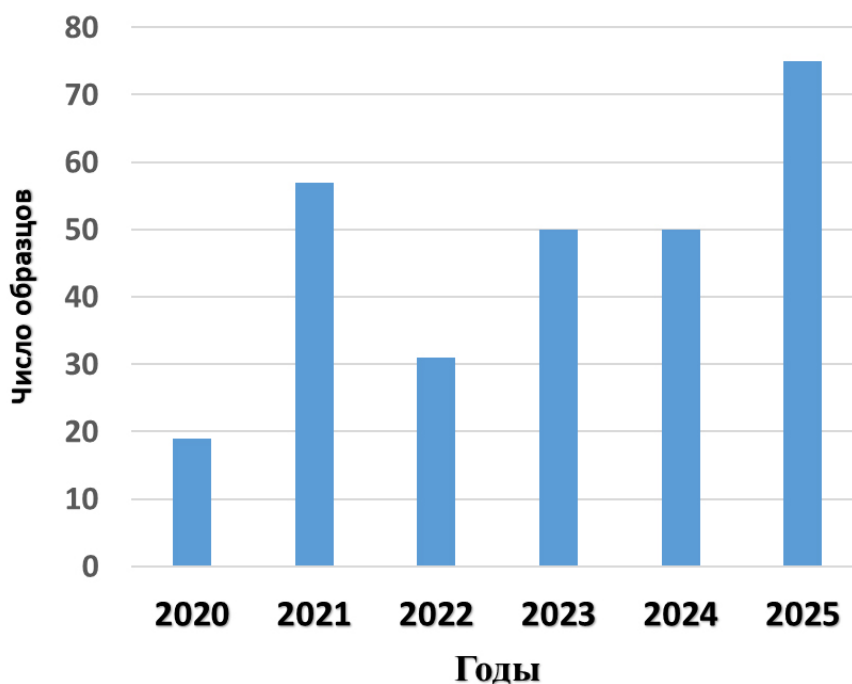
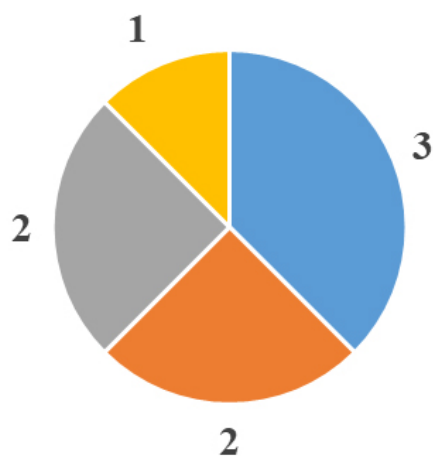


Рис. 2. Распределение образцов подсолнечника, отправленных из отдела генетических ресурсов масличных и прядильных культур ВИР по заявкам за последние пять лет

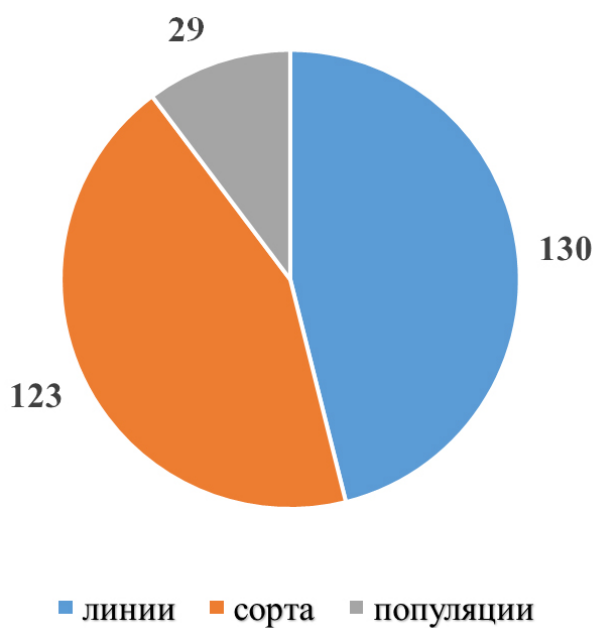
Fig. 2. Distribution of sunflower accessions sent out from the Department of Oil and Fiber Crop Genetic Resources upon requests during the last five years



- НИУ в области селекции
- коммерческие селекционные компании
- ВУЗы
- НИУ в области биологии

**Рис. 3. Учреждения, для которых выполнены заявки на образцы подсолнечника в 2020-2025 годах**  
 Коммерческие селекционные компании – участники Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства Российской Федерации на 2017-2030 годы

**Fig. 3. Institutions whose requests for sunflower accessions were fulfilled in 2020-2025**  
 Commercial breeding companies are participants in the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture of the Russian Federation for 2017-2030



**Рис. 4. Статус образцов подсолнечника, предоставленных по заявкам в 2020-2025 годах**  
**Fig. 4. Status of sunflower accessions submitted upon requests in 2020-2025**

## Заключение

Таким образом, создается активная коллекция подсолнечника для селекционного использования. В нее войдут признаковые коллекции по хозяйственно ценным признакам: крупноплодность, короткостебельность, восстановление фертильности пыльцы ЦМС РЕТ1, устойчивость к ЛМР. Для получателей материалов коллекции предлагаются снабженные основными оценочными данными следующие материалы: 80 источников раннеспелости, зацветающих раньше стандарта на 11-28 дней, среди них – ультраранние линии с продолжительностью периода всходы-цветение короче, чем у стандарта на 20-28 дней, и с периодом всходы-созревание 68-74 дней (ВИР 631, ВИР 772, ВИР 754, ВИР 794, ВИР 819). Отмеченные линии также являются донорами гена восстановления фертильности пыльцы *Rfl* и могут быть использованы в качестве отцовских форм при селекции промышленных гибридов. Созданная признаковая коллекция по крупноплодности, включающая 90 образцов, предлагается для выбора исходного материала для селекции сортов крупноплодного подсолнечника. Выделенные крупноплодные образцы, носители гена *Rfl*, в том числе ставшие родоначальниками линий-доноров генов восстановления фертильности пыльцы и крупноплодности одновременно, предлагаются для селекционных программ по созданию гибридов подсолнечника кондитерского назначения. Для селекционных программ предлагаются линии подсолнечника с разными генами устойчивости к ЛМР, а также линия ТА 716-18, которая показала полевую устойчивость в разные годы исследований, в том числе в год с наиболее сильной инфекционной нагрузкой, и несет пирамиду генов, то есть содержит в генотипе маркеры генов устойчивости  $Pl_{arg}$ ,  $Pl_5$  и  $Pl_8$ . Все перечисленные образцы включены в активную коллекцию подсолнечника.

## References/Литература

- Anashchenko A.V. Guidelines for the study of the world collection of oil crops. Issue II. Sunflower (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu mirovoy kolektsii maslichnykh kultur. Vypusk II. Podsolnechnik). Leningrad: VIR; 1976. [in Russian] (Анащенко А.В. Методические указания по изучению мировой коллекции масличных культур. Выпуск II. Подсолнечник. Ленинград: ВИР; 1976).
- Anashchenko A.V., Duka M.V. Studying the CMS-*Rf* system in sunflower (*Helianthus annuus* L.). II. Restoration of pollen fertility in sunflower hybrids based on CMS<sub>p</sub> type. *Genetics*. 1985;21(12):1999-2004. [in Russian] (Анащенко А.В., Дука М.В. Изучение генетической системы ЦМС-*Rf* у подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Сообщение II. Восстановление мужской фертильности у гибридов на основе ЦМС<sub>p</sub>. *Генетика*. 1985;21(12):1999-2004).
- Anisimova I.N., Khafizova G.V., Makarova L.G., Alpatieva N.V., Ryzanova M.K., Borisenko O.M., Gavrilova V.A. The inheritance pattern for the dwarf phenotype in hybrids from crosses among sunflower lines differing in alleles of the *Rht1* locus. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):135-146. [in Russian] (Анисимова И.Н., Хафизова Г.В., Макарова Л.Г., Алпатьева Н.В., Рязанова М.К., Борисенко О.М., Гаврилова В.А. Особенности наследования карликового фенотипа у гибридов от скрещивания линий подсолнечника, различающихся по аллелям локуса *Rht1*. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):135-146). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-135-146
- Antonova T.S., Ivebor V.T., Araslanova N.P., Gavrilova V.A. Results of evaluation of accessions from the VIR sunflower collection for resistance to downy mildew strains spread in the Krasnodar Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2011;167:90-95. [in Russian] (Антонова Т.С., Ивевор М.В., Рожкова В.Т., Арасланова Н.М., Гаврилова В.А. Результаты оценки образцов подсолнечника коллекции ВИР на устойчивость к расам возбудителя ложной мучнистой росы, распространенным в Краснодарском крае. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2011;167:90-95).
- Bochkovoy A.D., Pivnenko O.V. Domestic cultivar populations as source material for breeding large-seeded sunflower hybrids (Otechestvennyye sorta-populyatsii kak iskhodnyi material dlya selektsii krupnoplodnykh gibridov podsolnechnika). *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2007;1(136):3-8. [in Russian] (Бочковой А.Д., Пивненко О.В. Отечественные сорта-популяции как исходный материал для селекции крупноплодных гибридов подсолнечника. *Масличные культуры*. *Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2007;1(136):3-8).
- Bouzidi M.F., Badaoui S., Cambon F., Vear F., de Labrouhe D.T., Nicolas P., Mouzeyar S. Molecular analysis of a major locus for resistance to downy mildew in sunflower with specific PCR-based markers. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;104:592-600. DOI: 10.1007/s00122-001-0790-3
- Dimitrijevic A., Horn R. Sunflower hybrid breeding: from markers to genomic selection. *Frontiers in Plant Science*. 2018;8:2238. DOI: 10.3389/fpls.2017.02238
- Gavrilova V.A., Makarova L.G., Stupnikova T.G., Alpatieva N.V., Kuznetsova E.B., Anisimova I.N. The trait-specific collection of large-seeded sunflower at VIR: a source for breeding cultivars and hybrids. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023;184(4):64-78. [in Russian] (Гаврилова В.А., Макарова Л.Г., Ступникова Т.Г., Алпатьева Н.В., Кузнецова Е.Б., Анисимова И.Н. Признаковая коллекция крупноплодного подсолнечника ВИР для селекции сортов и гибридов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(4):64-78). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-64-78
- Gavrilova V.A., Stupnikova T.G., Makarova L.G., Alpatieva N.V., Kuznetsova E.B., Karabitsina Yu.I., Anisimova I.N. Lines resistant to downy mildew in the sunflower genetic collection at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):101-110. [in Russian] (Гаврилова В.А., Ступникова Т.Г., Макарова Л.Г., Алпатьева Н.В., Карабичина Ю.И., Кузнецова Е.Б., Анисимова И.Н. Линии генетической коллекции подсолнечника ВИР, устойчивые к ложной мучнистой росе. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):101-110). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-101-110
- Horn R., Kusterer B., Lazarescu E., Prufe M., Friedt W. Molecular mapping of the *Rfl* gene restoring pollen fertility in PET1-based F<sub>1</sub> hybrids in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;106(4):599-606. DOI: 10.1007/s00122-002-1078-y
- Horn R., Radanovic A., Fuhrmann L., Sprycha Y., Hamrit S., Jockovic M. et al. Development and validation of markers for the fertility restorer gene *Rfl* in sunflower. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(6):1260. DOI: 10.3390/ijms20061260
- Hladni N., Miladinović D. Confectionery sunflower breeding and supply chain in Eastern Europe. *OCL – Oilseeds and Fats Crops and Lipids*. 2019;26(1):29. DOI: 10.1051/ocl/2019019
- Imerovski I., Dimitrijević A., Miladinović D., Jocić S., Dedić B., Cvejić S., Surlan-Momirović G. Identification and validation of breeder-friendly DNA markers for  $Pl_{arg}$  gene in sunflower. *Molecular Breeding*. 2014;34(3):779-788. DOI: 10.1007/s11032-014-0074-7
- Ma G., Song Q., Underwood W.R., Zhang Z., Jason D. Fiedler J.D., Li X., Qi L. Molecular dissection of resistance gene cluster and candidate gene identification of *Pl17* and *Pl19* in sunflower by

- whole-genome resequencing. *Scientific Reports*. 2019;9:14974. DOI: 10.1038/s41598-019-50394-8
- Merezhko A.F. The problem of donors in plant breeding (Problema donorov v selektsii rasteniy). St. Petersburg: VIR; 1994. [in Russian] (Мережко А.Ф. Проблема доноров в селекции растений. Санкт-Петербург: ВИР; 1994).
- Novotel'nova N.S. Downy mildew of sunflower (Lozhnaya muchnistaya rosa podsolnechnika). Moscow, Leningrad, Nauka; 1966. [in Russian] (Новотельнова Н.С. Ложная мучнистая роса подсолнечника. Москва; Ленинград: Наука; 1966).
- On approval of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2025. Resolution of the Government of the Russian Federation № 996 of 25.08.2017. *The official internet-portal of legal information* (Russian Federation). 2017. [in Russian] (Постановление Правительства Российской Федерации от 25.08.2017 № 996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы». *Официальный интернет-портал правовой информации*. 2017). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708300023> [дата обращения: 14.11.2025]
- Pecrix Y., Penouilh-Suzette C., Muñoz S., Vear F., Godiard L. Ten broad spectrum resistances to downy mildew physically mapped on the sunflower genome. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1780. DOI: 10.3389/fpls.2018.01780
- Qi L.L., Foley M.E., Cai X.W., Gulya T.J. Genetics and mapping of a novel downy mildew resistance gene,  $Pl_{18}$ , introgressed from wild *Helianthus argophyllus* into cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2016;129(4):741-752. DOI: 10.1007/s00122-015-2662-2
- Radwan O., Bouzidi M.F., Nicolas P., Mouzeyar S. Development of PCR markers for the  $P15/P18$  locus for resistance to *Plasmopara halstedii* in sunflower, *Helianthus annuus* L. from complete CC-NBS-LRR sequences. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;109:176-185. DOI: 10.1007/s00122-004-1613-0
- Ramazanova S.A., Antonova T.S. To a question about marking of  $Pl$  loci controlling sunflower resistance to downy mildew pathogen. *Oil Crops*. 2019;1(177):17-23. [in Russian] (Рамазанова С.А., Антонова Т.С. К вопросу о маркировании локусов  $Pl$ , контролируемых устойчивостью подсолнечника к возбудителю ложной мучнистой росы. *Масличные культуры*. 2019;1(177):17-23). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-1-177-17-23
- Ramazanova S.A., Badyanov E.V., Guchetl S.Z. Molecular markers of genes  $Pl_6$ ,  $Pl_{13}$  and  $Pl_{arg}$  for sunflower breeding on resistance to downy mildew. *Oil Crops*. 2020;3(183):20-26. [in Russian] (Рамазанова С.А., Бадьянов Е.В., Гучетль С.З. Молекулярные маркеры генов  $Pl_6$ ,  $Pl_{13}$  и  $Pl_{arg}$  для использования в селекции подсолнечника на устойчивость к ложной мучнистой росе. *Масличные культуры*. 2020;3(183):20-26). DOI: 10.25230/2412-608X-2020-3-183-20-26
- Ramos M.L., Altieri E., Bulos M., Sala C.A. Phenotypic characterization, genetic mapping and candidate gene analysis of a source conferring reduced plant height in sunflower. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126(1):251-263. DOI: 10.1007/s00122-012-1978-4
- Subprograms of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture of the Russian Federation for 2017-2030 (Podprogrammy Federal'noy nauchno-tekhnicheskoj programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva Rossiyskoj Federatsii na 2017-2030 gody). *Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2030 = Federal'naya nauchno-tehnicheskaya programma razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017-2030 gody*: [website]. 2025. [in Russian] (Подпрограммы Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства Российской Федерации на 2017-2030 годы. *Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы*: [сайт]. 2025). URL: <https://фнтп.рф/subprogramms> [дата обращения: 14.11.2025]
- Tavolzhanskiy N.P. Theory and practice of creating sunflower hybrids in modern conditions (Teoriya i praktika sozdaniya gibridov podsolnechnika v sovremennykh usloviyakh). Belgorod; 2000. [in Russian] (Таволжанский Н.П. Теория и практика создания гибридов подсолнечника в современных условиях. Белгород; 2000).
- Vear V. Classic genetics and breeding. In: J. Hu, G. Seiler, C. Kole (eds). *Genetics, genomics and breeding of sunflower*. USA, Clemson, SC: Clemson University; 2010. Chapter 2. p.50-77.
- Wieckhorst S., Bachlava E., Dušle C.M., Tang S., Gao W., Sasaki C., Bauer E. Fine mapping of the sunflower resistance locus  $Pl_{ARG}$  introduced from the wild species *Helianthus argophyllus*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2010;121(8):1633-1644. DOI: 10.1007/s00122-010-1416-4

### Информация об авторах

**Вера Алексеевна Гаврилова**, 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, [v.gavrilova@vir.nw.ru](mailto:v.gavrilova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

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

### Information about the authors

**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](mailto:v.gavrilova@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8110-9168>

**Irina N. Anisimova**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [irina\\_anisimova@inbox.ru](mailto:irina_anisimova@inbox.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0474-8860>

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 01.12.2025; одобрена после рецензирования 12.12.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted on 01.12.2025; approved after reviewing on 12.12.2025; accepted for publication on 24.12.2025.

Научная статья

УДК 631.522/.524:633.37(470.45)

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01



## Содержание и вязкость камеди в образцах гуара коллекции ВИР, выращенных в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области

И. В. Кручина-Богданов<sup>1</sup>, Л. Ю. Новикова<sup>2</sup>, Р. А. Шаухаров<sup>3</sup>, М. А. Вишнякова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ООО «АМТ», Санкт-Петербург, Россия

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

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, Волгоград, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Маргарита Афанасьевна Вишнякова, m.vishnyakova.vir@gmail.com

**Актуальность.** Камедь гуара *Suamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. – зернобобового растения тропического происхождения – важный стратегический ресурс, используемый в таких основополагающих отраслях экономики России, как добыча нефти и газа. Это полисахарид галактоманнан с высокой гелеобразующей способностью, благодаря чему он используется в качестве загустителя и стабилизатора во многих других секторах отечественной экономики. Российская Федерация (РФ) закупает гуаровую камедь (ГК) на внешнем рынке. После интродукции гуара в РФ в начале XXI века появились перспективы производства отечественной камеди. В связи с этим необходимы исследования генофонда культуры для выявления количества и качества продуцируемой растениями камеди в зависимости от генотипа и среды. **Материал и методы.** Анализировали 12 образцов гуара из коллекции ВИР: четыре толерантных, четыре чувствительных и четыре нейтральных по отношению к засухе. Содержание камеди в семенах и приведенную удельную вязкость определяли ускоренным лабораторным методом получения вытяжек камеди для вискозиметрической оценки. Статистическая обработка данных проведена в пакете Statistica 13.3. **Результаты.** Содержание камеди в семенах в среднем по выборке составило 22,3%, а приведенной удельной вязкости ( $\eta$ ) 10770. Концентрация ГК слабо зависит от проанализированных в опыте факторов: год, режим водоснабжения, отношение образца к водоснабжению. Установлено, что на изменчивость значений  $\eta$  решающее влияние оказывает генотип (51%), влияния искусственной засухи, устанавливаемой после начала плодообразования, на этот признак не обнаружено. Выявлены образцы с наибольшими показателями ГК и  $\eta$ . **Заключение.** Сравнительно большое значение  $\eta$  обнаружено у генотипов, толерантных к засухе. Год эксперимента оказался вторым по значимости фактором после генотипа. Полагаем, что более продолжительный период созревания в 2023 году и более высокая сумма накопленных активных температур способствовали большему содержанию и большей приведенной удельной вязкости камеди.

**Ключевые слова:** гуар, количество и качество камеди, водоснабжение, условия года

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта 23-16-00195 от 15 мая 2023 г.

**Для цитирования:** Кручина-Богданов И.В., Новикова Л.Ю., Шаухаров Р.А., Вишнякова М.А. Содержание и вязкость камеди в образцах гуара коллекции ВИР, выращенных в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):17-28. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01

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

© Кручина-Богданов И.В., Новикова Л.Ю., Шаухаров Р.А., Вишнякова М.А., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01

## Gum content and viscosity in VIR guar accessions grown under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Region

Igor V. Kruchina-Bogdanov<sup>1</sup>, Lyubov Yu. Novikova<sup>2</sup>, Roman A. Shaukharov<sup>3</sup>, Margarita A. Vishnyakova<sup>2</sup><sup>1</sup> AMT, Ltd., St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia<sup>3</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Volgograd Experiment Station – a branch of VIR, Volgograd, Russia**Corresponding author:** Margarita A Vishnyakova, m.vishnyakova.vir@gmail.com

**Background.** The gum extracted from guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.), a tropical legume, is an important strategic resource required in such fundamental sectors of the Russian economy as oil and gas production. It is a polysaccharide galactomannan with high gelling capacity, making it used as a thickener and stabilizer in many other sectors of the national economy. The Russian Federation imports guar gum. Following the introduction of guar to the Russian Federation in the early 21st century, opportunities for domestic gum production emerged. In this regard, research is needed to determine how the quantity and quality of the plant-produced gum depend on genotype and environment, and to find ways to maximize these characteristics. **Materials and Methods.** Twelve guar accessions from the VIR collection were analyzed: four tolerant, four sensitive and four neutral to drought. Seed gum content and the reduced specific viscosity were determined using a rapid laboratory method for obtaining gum extracts for viscometric evaluation. The data were statistically processed using the Statistica 13.3 package. **Results.** The average gum content in the seeds across the accessions was 22.3%, and the reduced specific viscosity ( $\eta$ ) was 10,770. The gum content was found to weakly depend on such analyzed factors as the year, water supply regime, and the response of the accession to water supply. It was established that the variability of the reduced specific viscosity was mostly affected by the genotype (51%). The content and reduced specific viscosity of gum in guar seeds were insensitive to artificial drought initiated after the onset of fruiting and to the water supply regime. The accessions with the highest gum content and  $\eta$  values have been identified. **Conclusions.** A comparatively higher reduced specific viscosity of gum was found in drought-tolerant genotypes. The year of the experiment turned out to be the second most important factor after the genotype. We suppose that the longer maturation period in 2023 and the higher total accumulated active temperatures contributed to the higher content and higher reduced specific viscosity of the gum.

**Keywords:** guar, gum quality and quantity, water supply, year conditions**Acknowledgements:** This study was supported by the Russian Science Foundation under research project No. 23-16-00195 dated May 15, 2023**For citation:** Kruchina-Bogdanov I.V., Novikova L.Yu., Shaukharov R.A., Vishnyakova M.A. Gum content and viscosity in VIR guar accessions grown under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Region. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):17-28. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-01

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

© Kruchina-Bogdanov I.V., Novikova L.Yu., Shaukharov R.A., Vishnyakova M.A., 2025

## Введение

Камедь, получаемая из семян гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. – бобового растения тропического происхождения – важный ингредиент, используемый в разных отраслях промышленности. Натуральные камеди – это природные полисахариды, способные значительно повышать вязкость раствора даже при минимальных концентрациях.

Камедь гуара – галактоманнан – состоит из сложных углеводных полимеров галактозы и маннозы, соотношение которых может варьировать. Галактоманнан обладает одной из самых высоких молекулярных масс среди всех встречающихся в природе водорастворимых полимеров, имеет высокую гелеобразующую способность, нетоксичен (Thombare, 2016).

Гуаровая камедь широко используется в пищевой, бумажной, фармакологической и других отраслях народного хозяйства. Особую значимость камеди на современном мировом рынке определяет ее использование для гидравлического разрыва пласта при бурении нефтяных и газовых скважин. В 2025 году мировой рынок гуаровой камеди достиг 1,34 млрд долларов и его ежегодный рост прогнозируется в 4,8%. Основные поставщики камеди гуара на мировой рынок – Индия и Пакистан, а основные импортеры – США, РФ и Германия (Guar Market, 2025).

В наши дни технологическая независимость России, импортозамещение в сфере технологий и ресурсов для них, особенно в связи с долгосрочным характером санкций – приоритеты экономического развития. Поэтому гуаровую камедь, используемую в таких основополагающих отраслях экономики России как добыча нефти и газа, можно отнести к категории стратегических ресурсов.

Перспектива производства собственной камеди в РФ зависит от организации масштабного выращивания гуара. По агроклиматическим условиям для этого благоприятен климат Южного федерального округа, куда в начале XXI века интродуцировали гуар из юго-западной Азии (Dzyubenko et al., 2017). Имеющиеся на сегодняшний день попытки возделывания гуара в ряде южных областей страны свидетельствуют о возможности его выращивания в РФ, но пока недостаточно системны. Это касается, во-первых, отсутствия знания дифференциации генофонда гуара по адаптивности к разным агроклиматическим условиям, в частности, к количеству осадков, которое может различаться даже в пределах одной области (Gudko et al., 2024). Во-вторых, пока нет достаточно убедительного анализа количества и качества продуцируемой растениями камеди в зависимости от генотипа

и среды и, соответственно, разработки комплекса мероприятий, необходимых для максимизации этих показателей камеди.

Единственное исследование зависимости количества и качества камеди от условий среды было организовано в ВИР в 2017-2018 годах. На южных опытных станциях (ОС) института, климатические условия которых отвечают критериям теплообеспеченности гуара, исследовали 13 образцов из коллекции ВИР на богаре и при орошении. Убедительно показано, что при выращивании на Волгоградской, Астраханской, Дагестанской и Кубанской ОС ВИР максимальные показатели процентного содержания камеди и ее вязкости отмечены на первых двух, где был обеспечен полив. Показатели на двух других станциях, в отсутствие водоснабжения, были значительно ниже (Kruchina-Bogdanov et al., 2019). Наше исследование в определенной степени является продолжением этого анализа с использованием другого набора образцов из коллекции ВИР, выращенных при разных режимах полива и в условиях искусственной засухи на Волгоградской ОС ВИР.

Целью данного исследования был анализ генотипической изменчивости содержания и вязкости камеди в образцах коллекции ВИР, по-разному переносящих дефицит воды, и зависимости этих показателей от условий выращивания.

## Материалы и методы

Материалом послужили 12 образцов гуара из коллекции ВИР: толерантные, чувствительные и нейтральные к водоснабжению, что в данной статье мы называем «статусом образцов» (табл. 1).

Эта дифференциация основана на анализе стабильности семенной продуктивности и элементов ее структуры при выращивании образцов на Волгоградской ОС ВИР (48°42' с. ш., 44°34' в. д.) в 2023 и 2024 годах при разных режимах капельного орошения (Vishnyakova et al., 2025). Пятьдесят образцов из коллекции ВИР в 2023 году и 30 выбранных из них по результатам года как наиболее продуктивные в следующем, 2024 году, репродуцировали в двух повторностях: при поливе в течение всей вегетации и в условиях искусственной засухи, созданной после начала плодообразования. Норма полива в 2023 году – 5 л/растение в неделю, в 2024 году – 2,5 л/растение в неделю. Эти условия мы называем «режимом водоснабжения» (табл. 2). Посевы были изолированы от естественных осадков полиэтиленовым тентом.

**Таблица 1. Исследованные образцы**

**Table 1. Accessions studied**

№/ No.	№ каталога ВИР/ VIR catalogue No.	Образец/ Accession	Страна-донор/ Donor country	Статус образца в отношении к дефициту водоснабжения/ Accession status in relation to water shortage
1	52854	местный*	Индия	нейтральный
2	52877	Cluster Beans Long Kothu Avarai	Индия	толерантный
3	52891	Suvti	Индия	нейтральный
4	52904	J.C.8926	Индия	чувствительный
5	52910	P.L.G.850	Индия	толерантный
6	52918	местный*	Индия	чувствительный
7	52924	местный*	США	чувствительный
8	52926	местный*	США	чувствительный
9	52931	Cluster Beans	США	нейтральный
10	52932	местный*	Пакистан	нейтральный
11	52937	PLG 422	Индия	толерантный
12	52938	J.C. 3118	Индия	толерантный

\* – традиционный/стародавний сорт/

**Таблица 2. Варианты полевого опыта выращивания гуара на Волгоградской опытной станции ВИР, 2023-2024 годы**

**Table 2. Variants of field experiment on cultivating guar at the Volgograd Experiment Station of VIR, 2023-2024**

№/ No.	Год/ Year	Режим водоснабжения/ Water supply regime	Количество подаваемой воды/ Amount of water supplied	Дополнительные условия/ Additional conditions
1	2023	Полив в течение всей вегетации	5 л/растение в неделю	Изоляция от естественных осадков (полиэтиленовый тент)
2	2023	Прекращение полива после начала плодообразования	-	- « -
3	2024	Полив в течение всей вегетации	2,5 л/растение в неделю	- « -
4	2024	Прекращение полива после начала плодообразования	-	- « -

**Содержание камеди в семенах** – ГК (весовой %) и приведенную удельную вязкость  $\eta$  (безразмерная, условные единицы) определяли ускоренным лабораторным методом получения вытяжек камеди для вискозиметрической оценки в соответствии с «Методическими указаниями по определению биохимических признаков сортов гуара для использования камеди в бурильных работах» (Kruchina-Bogdanov et al., 2019).

Проанализированы характеристики камеди у образцов, выращенных в условиях оптимального полива и засухи, и рассчитан индекс их стабильности аналогично индексу стабильности урожайности YSI (yield stability index) (Bouslama, Schapaugh, 1984).

$$YSI = Y_s / Y_p$$

где  $Y_s$  – характеристика при засухе,

$Y_p$  – характеристика при поливе

В качестве характеристик стабильности образца рассчитаны коэффициенты вариации изученных признаков по четырем вариантам опыта и коэффициенты регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу (Eberhart, Russell, 1966). Дисперсионный анализ с апостериорными сравнениями по критерию Фишера LSD проведен в пакете Statistica 13.3. В исследовании принят уровень значимости 5%.

**Погодные условия эксперимента.** Средняя суточная температура воздуха взята с сайта (meteo.ru, 2025) для метеостанции в Волгограде, которая работает в соот-

ветствии со стандартами Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organization Identifier, WMO ID 34561). В целом вегетационный период гуара в 2024 году был более теплым, чем в 2023 году. Средняя температура апреля составила в 2023 году 7°C, в 2024 году 11°C, что позволило осуществить посев в 2024 году 18 апреля (рис. 1) – раньше, чем в 2023 году, в котором посев проводили 28 апреля. Продолжительность периода от посева до конца цветения/ начала плодообразования (окончания полива) в оба года составила 56 суток, сумма температур за этот период примерно одинакова, 1083,5°C в 2023 году и 1051,9°C в 2024 году. Уборка была произведена в 2024 году значительно раньше (29-30 августа), чем

в 2023 (25-27 сентября). Средняя температура «посев-конец цветения» в 2024 году (18,9°C) была ниже, чем в 2023 году (19,3°C) из-за более прохладного мая, а периода «конец цветения-уборка» – выше в 2024 году (25,2°C), чем в 2023 году (23,3°C). Период от конца цветения до уборки в 2024 году был короче – 78 сут., в 2023 году – 96 сут. В результате сумма температур за этот период в 2024 году была меньше (1965,9°C), чем в 2023 году (2234,9°C). Уборка проведена на 26 суток раньше, чем в предыдущем году, в том числе из-за начавшегося спонтанного вскрытия созревающих бобов. В целом период «посев-уборка» в 2024 году был на 17 суток короче, чем в 2023 году, и составлял 134 и 151 суток соответственно.



Рис. 1. Средняя декадная температура воздуха и даты посева, конца цветения и уборки гуара за два года эксперимента, Волгоградская опытная станция ВИР

Fig. 1. Average ten-day air temperature and dates of guar sowing, flowering termination, and harvesting in two years of the experiment, Volgograd Experiment Station of VIR

### Результаты

**Факторы, влияющие на содержание и приведенную удельную вязкость гуаровой камеди.** Средний показатель ГК в семенах за оба года во всех вариантах опыта составил 22,3%, содержание приведенной удельной вязкости ( $\eta$ ) – 10770. Средние для выборки показатели содержания камеди в 2023 году как в условиях полива, так и при засухе были выше по сравнению с 2024 годом (табл. 3). При засухе наблюдалась недостоверная тенденция к снижению ГК в оба года исследования на 0,3-0,4%. Влияние окружающей среды на  $\eta$  было недостоверным и разнонаправленным: в 2023 году  $\eta$  в условиях засухи снизилась на 1236 условных единиц, в 2024 году повысилась на 106 (рис. 4). Максимальные значения ГК и  $\eta$  были зарегистрированы в 2023 году в условиях полива, мини-

мальные – в 2024 году, при этом показатели, полученные в условиях двух режимов, полива и засухи, не различались.

Трехфакторный дисперсионный анализ (год, полив, сорт) показал, что на ГК значимо влиял только год эксперимента ( $p=0,002$ ); генотип и режимы полива влияли незначимо ( $p=0,148$  и  $p=0,541$ ). На  $\eta$  значимо влиял и год ( $p<0,001$ ), и генотип ( $p<0,001$ ), полив – незначимо ( $p=0,189$ ). Доля влияния года на содержание камеди составила 17,9%, генотипа – 27,6%, полива – 0,6%, неизвестных факторов – 53,9%. Доля влияния факторов на  $\eta$  составила: 19,3% – год, 51,3% – генотип, 1,5% – полив, 27,9% – неизвестные факторы. Таким образом, наиболее заметным выявленным фактором был генотип, контролирующей большую часть (51,3%) изменчивости приведенной удельной вязкости камеди. В содержании каме-

ди бóльшая часть изменчивости (53,9%) контролируется неизвестными факторами.

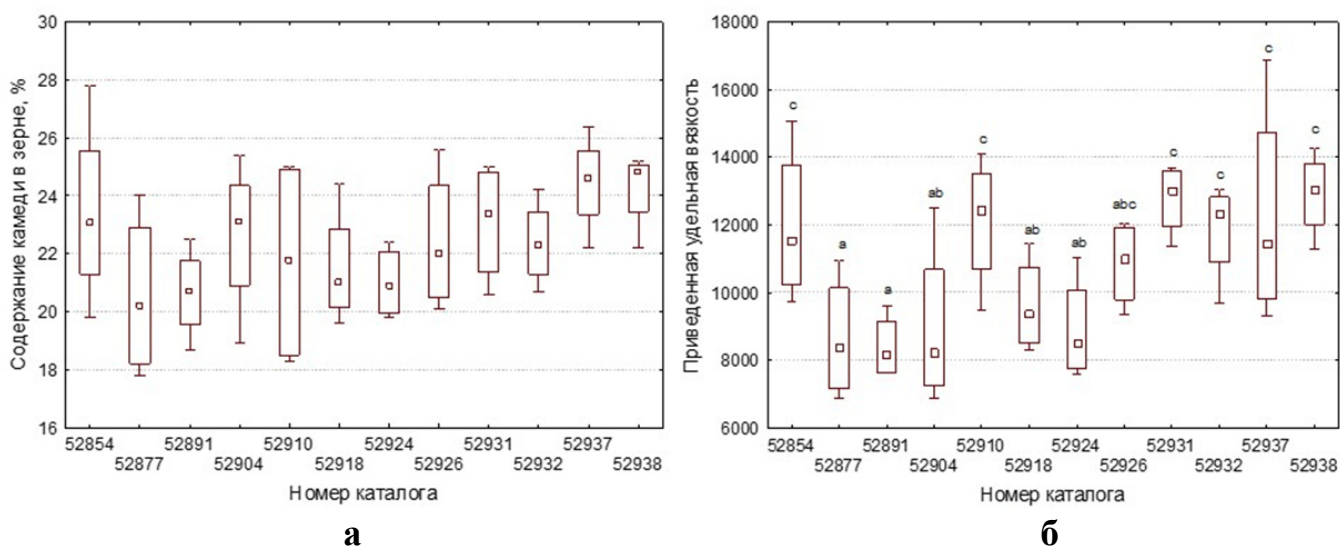
Нами выделены две контрастные группы генотипов по приведенной удельной вязкости по критерию Фише-

ра (LSD): со средней вязкостью в опыте выше 11000 у.е. (группа «с» на рис. 2б) и ниже 8900 у.е. (группа «а» на рис. 2б). По содержанию камеди генотипы, как было сказано выше, не различались (рис. 2а).

**Таблица 3. Содержание камеди в семенах, различающихся по устойчивости к засухе образцов гуара в четырех вариантах опыта на Волгоградской ОС, 2023-2024 годы**

**Table 3. Gum content in seeds of guar accessions differing in drought tolerance in four experimental variants at the Volgograd Experiment Station, 2023-2024**

Статус образца в отношении к дефициту водоснабжения/ Accession status in relation to water shortage	Содержание камеди в семенах, %/ Gum content in seeds, %			
	2023		2024	
	Полив (5 л/раст./неделя)/ Watering (5 l/plant/week)	Засуха/ Drought	Полив (2,5 л/раст./неделя)/ Watering (2.5 l/plant/week)	Засуха/ Drought
Толерантные к засухе/ Tolerant to drought	25,03±0,50	23,38±0,8	20,98±1,70	20,83±1,47
Нейтральные к режиму водоснабжения/ Neutral to water supply	24,3±1,35	22,90±0,46	21,75±0,73	20,95±1,28
Чувствительные к засухе/ Sensitive to drought	21,58±1,28	23,28±1,25	21,88±0,47	20,83±0,96
Среднее для всех образцов/ Average for all accessions	23,5±0,76	23,18±0,47	21,53±0,59	21,12±0,74



**Рис. 2. Генотипическая изменчивость а) содержания и б) приведенной удельной вязкости камеди у 12 образцов гуара в четырех вариантах опыта, Волгоградская ОС, 2023-2024 годы**

**Fig. 2. Genotypic variability of gum a) content and б) reduced specific viscosity in 12 guar accessions in four experimental variants, Volgograd Experiment Station, 2023-2024**

Индекс засухоустойчивости ГК (отношение значений в условиях засухи и при поливе) варьировал в 2023 году от 0,8 до 1,3, в 2024 году – от 0,8 до 1,2;  $\eta$  – от 0,7 до 1,1 в 2023 году, в 2024 году от 0,7 до 1,5. Таким образом, в условиях засухи наблюдались как снижение содержания камеди до 20%, так и повышение до 30%; как снижение вязкости до 30%, так и повышение до 50%.

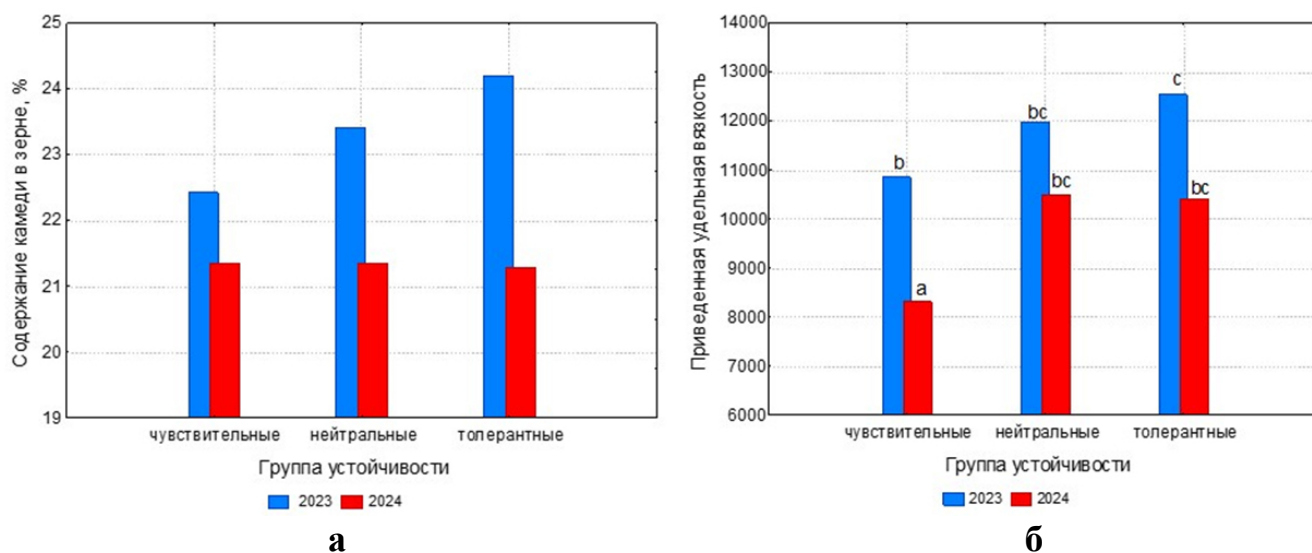
**Корреляционные связи характеристик гуаровой камеди.** В каждом из 4-х вариантов опыта наблюдалась положительная корреляция ГК и  $\eta$ , максимальная в 2023 году в условиях полива  $r = 0,75$ . В остальных вариантах корреляции недостоверны (в 2023 году в условиях засухи  $r = 0,46$ , в 2024 году в условиях полива  $r = 0,42$ , при засухе  $r = 0,28$ ). По совокупности 4-х опытов корреляция достоверна:  $r = 0,58$ . В среднем при увеличении концентрации камеди на 1% вязкость увеличивается на 564,2.

Ранговые корреляции образцов (по Спирмену) в 4-х вариантах опыта по ГК не были достоверны: в 2023 году в условиях засухи и полива  $r = 0,07$ , в 2024 году  $r = 0,50$  ( $p = 0,095$ ); в условиях полива в 2023 и 2024 годах  $r = 0,26$ , при засухе  $r = 0,10$ . Ранжирование по  $\eta$  было более устойчивым – наблюдалась значимая связь рангов в трех из четырех опытов, корреляция была незначима только между рангами образцов при разных режимах полива в 2023 году:  $r = 0,48$  ( $p = 0,112$ ), остальные – значимы: в 2024 году между режимами полива  $r = 0,68$ ; в условиях полива в 2023 и 2024 годах  $r = 0,60$ , самая сильная – между режимами «засуха» в 2023 и 2024 годах:  $r = 0,80$ . Таким образом, подтвердилась связь приведенной удельной вязкости

камеди с генотипом гуара.

Поскольку влияние полива было незначимо, мы посчитали варианты полив/ засуха повторностями. Усредненные по режимам водоснабжения значения  $\eta$  коррелировали между годами сильнее, чем в отдельных опытах,  $r = 0,82$ , в случае ГК – незначимо:  $r = 0,18$ . Таким образом, в условиях различной теплообеспеченности и продолжительности формирования семени ранг генотипа в отношении приведенной удельной вязкости камеди сохранялся, а абсолютные значения были выше в год с большей суммой температур за период созревания.

**Сравнение характеристик камеди у групп образцов разного статуса.** Связь характеристик камеди со стабильностью семенной продуктивности при разных режимах водоснабжения, выраженной через статус образца, исследована по средним значениям за год. Группы образцов разного статуса не различались значимо средним содержанием камеди ( $p = 0,565$ ), влияние года было значимо ( $p = 0,003$ ), содержание ГК во всех группах показало тенденцию к снижению в 2024 году (взаимодействие факторов группа и год незначимо,  $p = 0,512$ ) (рис. 3). Приведенная удельная вязкость у образцов разного статуса была различна ( $p = 0,023$ ), взаимодействия года и этого показателя не было ( $p = 0,764$ ). Наибольшая  $\eta$  была у группы толерантных к засухе генотипов в 2023 году: среднее значение для четырех генотипов – 12539, которое достоверно превысило показатель – 8320 – в случае чувствительных образцов в 2024 году.



**Рис. 3. Характеристики камеди в группах образцов гуара с разным отношением к водоснабжению, Волгоградская ОС. а) содержание камеди; б) приведенная удельная вязкость. Одинаковыми буквами отмечены достоверно не различающиеся группы**

**Fig. 3. Gum characteristics in groups of guar accessions with different water supply status, Volgograd Experiment Station. а) gum content; б) reduced specific viscosity. The groups that do not differ significantly are marked with same letters**

Таким образом, толерантные к засухе образцы имели сравнительно большую  $\eta$  и более высокий процент ГК.

**Стабильность характеристик камеди у образцов.** Выделяющиеся по высокому значению показателя  $\eta$  образцы к-52932, к-52854, к-52910, к-52937, к-52931, к-52938 характеризовались разной ее стабильностью (табл. 4). По степени варьирования выделяются два образца из перечисленных: к-52931 и к-52938 с коэффициентами вариации 8,3% и 9,7% соответственно. По коэф-

фициенту  $b_i$  лучшими считаются образцы со значениями, близкими к единице, в данном случае со значениями 0,9-1,2. Это образцы к-52877, к-52924, к-52926, к-52938.

Как видно из таблицы 4, максимальное значение  $\eta$  и одно из самых высоких значений ГК определены у J.C. 3118 (к-52938, Индия), который по нашей классификации (см. табл. 1) относится к группе толерантных к засухе образцов.

**Таблица 4. Изменчивость характеристик камеди у образцов гуара в четырех вариантах опыта**

**Table 4. Variability of gum characteristics in guar accessions across four experimental variants**

№ каталога ВИР*/ VIR catalogue No.*	Статус образца/ Accession status	Содержание камеди в зерне, %/ Gum content in seeds, %				Приведенная удельная вязкость/ Reduced specific viscosity			
		Среднее/ Average	Стандартное отклонение/ SD	CV**, %	$b_i$ ***	Среднее/ Average	Стандартное отклонение/ SD	CV**, %	$b_i$ ***
52891	нейтр.	20,7	1,6	7,6	1,1	8390	950	11,3	0,5
52877	толер.	20,6	2,9	14	2,3	8652	1852	21,4	0,9
52924	чувств.	21	1,3	6	-1	8907	1573	17,7	1,2
52904	чувств.	22,6	2,7	12	1,9	8961	2484	27,7	1,9
52918	чувств.	21,5	2,1	9,6	0,9	9623	1417	14,7	0,7
52926	чувств.	22,4	2,5	11	0,1	10854	1289	11,9	0,9
52932	нейтр.	22,4	1,5	6,6	0,7	11853	1498	12,6	0,3
52854	нейтр.	23,4	3,3	14,1	2,2	11979	2337	19,5	1,3
52910	толер.	21,7	3,7	17	3,1	12097	1971	16,3	0,2
52937	толер.	24,5	1,7	7,1	1	12258	3353	27,4	2,6
52931	нейтр.	23,1	2,1	9,1	0,4	12765	1060	8,3	0,6
52938	толер.	24,3	1,4	5,7	0,7	12907	1256	9,7	0,9

\* Образцы перечислены в порядке увеличения вязкости/ Accessions arranged in order of increasing average viscosity

\*\* CV – коэффициент вариации, %/ coefficient of variation, %;

\*\*\*  $b_i$  – коэффициент регрессии на условия среды по Эберхарту, Расселлу/ Eberhart and Russell regression coefficient for environmental conditions (Eberhart, Russell, 1966)

**Статус образца/ Accession status:** нейтр. – нейтральный/ neutral; чувств. – чувствительный/ sensitive; толер. – толерантный/ tolerant

## Обсуждение

Гуар имеет репутацию засухоустойчивого растения (Undersander et al., 1991; Sultan et al., 2012), тем не менее требующего определенного количества осадков перед посевом и для инициации созревания семян (Anderson, 1949). Показано, что избыток влаги на ранней стадии роста и после созревания семян приводит к снижению качества бобов гуара (Heune, Whistler, 1948). По нашим данным, водоснабжение – фактор, в значительной мере определяющий стабильность семенной продуктивно-

сти растений гуара (Vishnyakova et al., 2025). В мировом генофонде гуара выявлена дифференциация генотипов по отношению к водоснабжению, а именно контрастные по отношению к засухе образцы: устойчивые и неустойчивые (Stafford et al., 1991; Khanzada et al., 2001; Al-Shameri et al., 2017; Avola et al., 2020; Pandey et al., 2022). Аналогичная дифференциация выявлена нами у образцов гуара из коллекции ВИР (Vishnyakova et al., 2025). Однако исследования количества и качества камеди у образцов, по-разному переносящих дефицит воды, нам неизвестны.

Работ по изменчивости содержания камеди в семе-

нах у различных генотипов гуара, имеющих в мировых генбанках, немного. Еще меньше работ, показывающих зависимость ГК и  $\eta$  от условий среды. В работе А. Joshi с соавторами (Joshi et al., 2015) проанализированы значения этих показателей у 15 генотипов, выращиваемых в четырех географических пунктах. Размах изменчивости ГК в эксперименте – 26,12-31,46%, вязкости – от 2104 до 6240. При этом различие в первой характеристике у одного образца в разных пунктах могло составлять четыре и более процента, к примеру 26,77% и 30,93%, а показатель вязкости имел разницу в 4020 у. ед. (2020 и 6240).

В работе В. Dinesha с соавторами (Dinesha et al., 2021) была выявлена генотипическая изменчивость ГК в пределах 23%-30,33% и вязкости – от 2055,17 до 3167,9 единиц. Для 9 образцов гуара из коллекции Хизарского аграрного университета (Индия) показано значение ГК 29,10%-31,34%, но у селекционных линий, созданных специально для получения камеди, – 35,35-36,75 (Guar status, potential..., 2015). Большой размах изменчивости ГК выявлен в выборке из 40 генотипов коллекции исследовательского института центральной аридной зоны г. Джодхпур (Индия): от 7,6% до 30,93% (Sharma et al., 2025).

Анализ биохимического состава семян шести сортов гуара из разных стран юго-западной части Сицилии (Gresta et al., 2017) показал, что среднее содержание галактоманнана в изученной выборке составило 30%, а генотипическая изменчивость находилась в пределах от 28,6% до 34,6%. Исследователи подсчитали выход камеди у изученной выборки сортов в промышленных масштабах – в среднем 0,55 т/га, с вариацией от 0,46 т/га у сорта 'Matador' (США) до 0,66 т/га у сорта 'Lewis' (США). Самые высокие показатели ГК показаны для современных российских сортов – до 47% (Characteristics of plant varieties, 2024).

Попытки оценить влияние среды на урожайность семян и характеристики камеди у 22 образцов гуара в г. Хайдарабад (Индия), предпринятые в течение трех сезонов, характеризовавшихся небольшими погодными различиями, привели исследователей к заключению, что ГК и вязкость незначительно зависели от условий выращивания растений (Naik et al., 2013). К аналогичным выводам пришли иранские ученые: сроки посева и плотность растений на делянке (Mahdipour-Afra et al., 2021), а также режим орошения (Meftahizadeh et al., 2019) не влияли на содержание камеди.

В контексте процитированных исследований определенные нами показатели ГК в изученных образцах, имеющие размах изменчивости 20,6%-24,5% при среднем во всех вариантах опыта 22,3%, следует считать относительно низкими.

Особенно странным кажется то обстоятельство, что при определении количества и качества камеди у 13 образцов из коллекции ВИР на Волгоградской ОС ВИР в 2018 году изменчивость ГК фиксировали в пределах 32%-48%, со средним значением 40,7% (Kruchina-Bogdanov et al., 2019), то есть почти в два раза выше пока-

зателей настоящего исследования.

Мы склонны объяснить это разницу следующими причинами:

во-первых, в 2018 году посевы на Волгоградской ОС ВИР находились в открытом поле, а в нашем опыте – под полиэтиленовым тентом, установленным во избежание попадания естественных осадков. Известно, что радиационный режим под укрытием (парники, теплицы) при солнечном обогреве существенно отличается от режима в посевах открытого грунта (Losev, Zhurina, 2003). По характеристикам продукции, публикуемым производителями в разных источниках, полиэтиленовая пленка пропускает 80-90% видимого света, и ее прозрачность для солнечных лучей снижается до 40-60% уже к концу первого сезона;

во-вторых, посев в нашем эксперименте осуществляли в почву, температура которой была эмпирически определена в предшествующие годы на уровне 15°C. В оба года были получены дружные всходы на 4-5-й день после посева. В 2024 году посев был произведен 18 апреля на 10 суток раньше, чем в 2023 году, так как температура воздуха была выше 17°C в течение всей второй декады апреля, что на 3-8°C выше, чем в 2023 году. Однако это весеннее преимущество в дальнейшем нивелировалось флуктуациями температуры в течение вегетации. Конец цветения в оба года пришелся на период со сравнимыми температурами – немногим выше 20°C, а активное плодообразование, приходящееся на август, в 2024 году происходило при более низких температурах, чем в 2023 году (см. рис. 1). В результате, вегетационный период 2024 года, сокращенный на 17 дней из-за более раннего сбора урожая, характеризовался значительно меньшей суммой накопленных активных температур – 1965,9°C vs 2234,9°C в 2023 году. Итоговая разница недобранных активных температур – 369°C.

Этими двумя факторами – укороченным вегетационным периодом, что привело к недобору суммы активных температур, и тентом из полиэтиленовой пленки, на наш взгляд, в значительной степени можно объяснить и доли влияния года на содержание камеди – 17,9%, и доли неизвестных факторов – 53,9%. Это предположение подтверждается также тем, что в 2023 году, по нашим ранее полученным данным, на растениях гуара было достоверно меньше узлов с невызревшими бобами: 8 шт./растение в 2023 году и 11 шт./растение в 2024 году (Vishnyakova et al., 2025).

Мы не обнаружили четких зависимостей изучаемых характеристик (ГК и  $\eta$ ) от принадлежности образцов к группам толерантных, чувствительных и нейтральных по отношению к засухе. Межгрупповые различия по годам этих показателей в 2023 году и их практическое отсутствие в 2024 году позволяют выдвинуть следующее предположение. В 2023 году в условиях полива образцы дифференцировались на приспособленные и нет, а в 2024 году различия были в пределах случайной ошибки опыта, различия же между режимами водоснабжения – в рамках

случайной изменчивости. В пользу первого предположения можно привлечь данные из нашей работы по семенной продуктивности изучаемой выборки в 2023 году. Среднее значение этого признака в условиях полива у 50 изученных образцов было  $10,20 \pm 1,00$ , а в условиях засухи –  $11,62 \pm 0,78$  г/раст. (Vishnyakova et al., 2025). Поскольку в условиях полива у отдельных образцов практически отсутствовали зрелые семена, в то время как в условиях засухи завязывалось минимум 4,3 г/раст., мы сочли режим полива 5 л/раст. в неделю избыточным.

В научных публикациях, посвященных гуару, имеется определенный пул исследований, проведенных в разных географических зонах и посвященных изучению влияния сроков посева (Garcia et al., 2023; Sher et al., 2022; Singla et al., 2016), а также норм высева и полива (Meftahizadeh et al., 2019; Mahdipour-Afra et al., 2021) на продуктивность и выход камеди. Для каждой зоны определены оптимальные условия, позволяющие максимизировать содержание камеди в семенах гуара. В частности, на Сицилии посев производят в начале мая, уборку в начале октября. Это означает, что длительность вегетационного периода составляет не менее 150 суток (Gresta et al., 2017).

Полученный опыт выращивания гуара на Волгоградской ОС ВИР свидетельствует о том, что оптимальными сроками для его посева является период с 15 по 30 апреля, а уборку необходимо производить не ранее середины сентября (Vishnyakova et al., 2024; Vishnyakova et al., 2025), при этом вегетационный период продолжается не менее 150 суток. Данные по содержанию и вязкости камеди в экспериментах наших коллег на Волгоградской ОС ВИР в 2018 году (Kruchina-Bogdanov et al., 2019) и данные F. Gresta с соавторами (Gresta et al., 2017) на Сицилии сопоставимы, даже с некоторым превышением значения признаков в Волгограде. Мы считаем, что причинами этого являются: во-первых, отсутствие ограничений, характерных для нашего эксперимента в 2024 году, а именно укороченного вегетационного периода и наличия полиэтиленового тента, а, во-вторых, допускаем возможность некоторых модификаций в методах определения изученных нами признаков у разных исследователей.

### Заключение

Для 12 образцов гуара из коллекции ВИР, классифицированных ранее как толерантные, чувствительные и нейтральные по отношению к режиму водоснабжения (засухе), показано, что содержание камеди в семенах (количественный показатель) слабо зависит от проанализированных в опыте факторов: год, режим водоснабжения, отношение образца к водоснабжению. Более 50% изменчивости объясняется неизвестными факторами. Для приведенной удельной вязкости  $\eta$  (качественный показатель) выявлена решающая роль (51%) влияния генотипа на изменчивость признака. Влияние искусственной засухи, устанавливаемой после начала плодообразования, и режима водоснабжения на содержание и приведенную

удельную вязкость камеди в семенах гуара не обнаружено. В условиях засухи наблюдались как снижение, так и повышение этих показателей у разных генотипов. Между тем, бóльшая приведенная удельная вязкость камеди обнаружена у толерантных к засухе генотипов. Год эксперимента оказался вторым по значимости фактором после генотипа. Полагаем, что более продолжительный период созревания в 2023 году и более высокая сумма накопленных активных температур способствовали бóльшему содержанию и бóльшей приведенной удельной вязкости камеди. Изменчивость показателей камеди позволила выявить образцы с наиболее высоким содержанием ГК. Максимальный уровень приведенной удельной вязкости камеди (12907) и ее стабильность (коэффициент вариации 9,7%, регрессия на условия среды 0,9) выявлены у индийского толерантного к засухе образца J.C. 3118 (к-52938), который имеет также один из самых высоких в изученной выборке процентов среднего содержания камеди – 24,3%.

### References/Литература

- Al-Shameri A., Al-Qurainy F., Khan S., Mohammad N., Gaafar A.-R., Tarroum M., Alameri A., Alansi S., Ashraf M. Appraisal of guar accessions for forage purpose under the typical Saudi Arabian environmental conditions encompassing high temperature, salinity and drought. *Pakistan Journal of Botany*. 2017;49(4):1405-1413.
- Anderson E. Endosperm mucilages of legumes: occurrence and composition. *Industrial and Engineering Chemistry*. 1949;41(12):2887-2890.
- Avola G., Riggi E., Trostle C., Sortino O., Gresta F. Deficit irrigation on guar genotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.): effects on seed yield and water use efficiency. *Agronomy*. 2020;10(6):789. DOI: 10.3390/agronomy10060789
- Bouslama M., Schapaugh W.T. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 1984;24(5):933-937. DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400050026x
- Characteristics of plant varieties first included in the State Register of Breeding Achievements approved for use: official publication. Moscow: Rosinformagrotech; 2024. [in Russian] (Характеристики сортов растений, впервые включённых в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: официальное издание. Москва: Росинформагротех; 2004). URL: <https://gossortrf.ru/publications>. [дата обращения: 22.09.2025].
- Dinesha B.L., Nidoni U., Manjunath B., Ambrish G., Sharanagouda H., Vijayakumar H. Physico-chemical properties of four different varieties of guar seeds (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *The Pharma Innovation*. 2021;10(3):230-234. DOI: 10.22271/tpi.2021.v10.i3d.5777
- Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A., Potokina E.K., Bulyntsev S.V. Clusterbeans (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) – properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(6):1116-1128. [in Russian] (Дзюбенко Н.И. Дзюбенко Е.А., Потокина Е.К., Булынтцев С.В. Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.): характеристика, применение, генетические ресурсы и возможность интродукции в России (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(6):1116-1128). DOI: 10.15389/agrobiol.2017.6.1116rus
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- Garcia A., Grover K., VanLeeuwen D., Stringam B., Schutte B. Growth and performance of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes under various irrigation regimes with and without

- biogenic silica amendment in arid Southwest US. *Plants*. 2023;12(13):2486. DOI: 10.3390/plants12132486
- Gresta F., Ceravolo G., Presti V.L., D'Agata A., Rao R., Chiofalo D. Seed yield, galactomannan content and quality traits of different guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes. *Industrial Crops and Products*. 2017;107:122-129. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.05.037
- Guar Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts. MordorIntelligence – Precise market intelligence and advisory; 2025-2030. Available from: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/guar-market> [accessed Oct. 02, 2025].
- Guar status, potential, prospects challenges and R&D road map. 2015. Available from: [https://www.tifac.org.in/images/pdf/pub/guar\\_report.pdf](https://www.tifac.org.in/images/pdf/pub/guar_report.pdf). [accessed Oct. 02, 2025].
- Gudko V., Usatov A., Minkina T., Duplii N., Azarin K., Tatarinova T.V., Sushkova S., Garg A., Denisenko Y. Dependence of the pea grain yield on climatic factors under semi-arid conditions. *Agronomy*. 2024;14(1):133. DOI: 10.3390/agronomy14010133
- Heyne E., Whistler R.L. Chemical composition and properties of guar polysaccharides. 1125 *Journal of the American Chemical Society*. 1948;70(6):2249-2252. DOI: 10.1021/ja01186a075
- Joshi A.A., Bhokre C.K., Rodge A.B. Evaluation of gum content and viscosity profile of different genotypes of guar from different locations. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015;4(4):553-557.
- Khanzada B., Ashraf M.Y., Ala S.A., Alam S.M., Shirazi M.U., Ansari R. Water relations in different guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes under water stress. *Pakistan Journal of Botany*. 2001;33(3):279-287.
- Kruchina-Bogdanov I.V., Miroshnichenko E.V., Shaukharov R.A., Kantemirova E.N., Golovina M.A., Abdullaev K.M., Balashov A.V., Rusinova E.V., Rusinov P.G., Potokina E.K. Impact of growing conditions on the gum properties of different genotypes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(7):941-948. DOI: 10.18699/VJ19.570
- Losev A.P., Zhurina L.L. Agrometeorology (Agrometeorologiya). Moscow: Kolos; 2003. [in Russian] (Лосев А.П., Журина Л.Л. Агротеморология. Москва: Колос; 2003).
- Mahdipour-Afra M., AghaAlikhani M., Abbasi S., Mokhtassi-Bidgoli A. Growth, yield and quality of two guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) ecotypes affected by sowing date and planting density in a semi-arid area. *Plos One*. 2021;16(9):e0257692. DOI: 10.1371/journal.pone.0257692
- Meftahizadeh H., Ghorbanpour M., Asareh M.H. Changes in phenological attributes, yield and phytochemical compositions of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) landraces under various irrigation regimes and planting dates. *Scientia Horticulturae*. 2019;256:108577. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108577
- meteo.ru: website. RIHMI-World Data Center. 2025. [in Russian] (meteo.ru: сайт / ВНИИГМИ – Мировой центр данных. 2025). URL: <https://www.meteo.ru> [дата обращения: 19.06.2025]
- Naik C.S.R., Ankaiah R., Sudhakar P., Reddy T.D., Murthy V.R., Spandana B., Jatothu J.L. Variation in the protein and galactomannan content in guar seeds of different genotypes. *Plant Archives*. 2013;13(1):247-252.
- Pandey K., Kumar R.S., Prasad P., Pande V., Trivedi P.K., Shirke P.A. Coordinated regulation of photosynthesis and sugar metabolism in guar increases tolerance to drought. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;194:104701. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104701
- Sharma S., Tyagi A., Ramakrishna G., Saxena S., Mithra A., Mehla H.R., Golui D., Sharma R., Gaikwad K. Comparative assessment of nutritional, industrial and agronomic valuable traits of underutilized guar genotypes. *Legume Research*. 2025;48(12):1958-1968. DOI: 10.18805/LR-5145
- Sher A., Calone R., Allah S.-U., Sattar A., Ijaz M., Sarwar B., Barbanti A.Q.L. Growth, yield and quality attributes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes grown under different planting dates in a semi-arid region of Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2022;59(5):757-763. DOI: 10.21162/PAKJAS/22.151
- Singla S., Grover K., Angadi S., Begna S., Schutte B., Van Leeuwen D. Growth and yield of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under different planting dates in the semi-arid Southern High Plains. *American Journal of Plant Sciences*. 2016;7:1246-1258. DOI: 10.4236/ajps.2016.78120
- Stafford R.E., McMichael B.L. Effect of water stress on yield components in guar. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1991;166:63-68. DOI: 10.1111/j.1439-037X.1991.tb00884.x
- Sultan M., Yousaf M.N., Rabbani M.A., Shinwari Z., Masood M.S. Phenotypic divergence in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) landrace genotypes of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 2012;44:203-210.
- Thombare N., Jha U., Mishra S., Siddiqui M.Z. Guar gum as a promising starting material for diverse applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016;88:361-372. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001
- Undersander D.J., Putman D.H., Kaminski A.R., Helling K.A., Doll J.D., Oplinger E.S., Gunsolus J.L. Guar. In: *Alternative field crops manual*. University Wisconsin-Extension, Madison; 1991.
- Vishnyakova M.A., Dzyubenko E.A., Kocherina N.V., Agakhanov M.M., Shaukharov R.A. Phenotyping of guar accessions from the VIR collection under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Province. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2025;186(1):93-105. [in Russian] (Вишнякова М.А., Дзюбенко Е.А., Кочерина Н.В., Агаханов М.М., Шаухаров Р.А. Фенотипирование образцов гуара из коллекции ВИР в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(1):93-105). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-93-105
- Vishnyakova M.A., Shaukharov R.A., Gurina A.K., Kocherina N.V., Dzyubenko E.A., Cherevatskaya M.A., Frolova N.V., Frolov A.A. Guar in the Russian Federation: an attempt to conceptualize the experience acquired. In: *Genepool and Plant Breeding (GPB 2024): Proceedings of the 7th International Conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician of the Russian Academy of Sciences P.L. Goncharov*; 2024 April 10-12; Novosibirsk, Russia. Novosibirsk: ICG SB RAS; 2024. p.88-92. [in Russian] (Вишнякова М.А., Шаухаров Р.А., Гурина А.К., Кочерина Н.В., Дзюбенко Е.А., Череватская М.А., Фролова Н.В., Фролов А.А. Гуар в Российской Федерации: попытка осмысления полученного опыта. В кн.: *Генофонд и селекция растений: материалы 7-й Международной конференции, посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова*; 10–12 апреля 2024 г.; Новосибирск, Россия. Новосибирск: ИЦиГ СО РАН; 2024. С.88-92). DOI: 10.18699/GPB2024-23

### Информация об авторах

**Игорь Вадимович Кручина-Богданов**, генеральный директор, ООО «АМТ», 194021 Россия, Санкт-Петербург, переулок Институтский, 5, строение 2, igogo011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5779-5404>

**Любовь Юрьевна Новикова**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, отдел автоматизированных информационных систем, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

**Рамазан Абатович Шаухаров**, специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, 404160 Россия, Волгоградская область, Среднеахтубинский район, Краснослободск, Опытная станция ВИР, 30; romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>

---

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

### *Information about the authors*

**Igor V. Kruchina-Bogdanov**, General Director, LLC “AMT”, Building 2, 5, Institutsky Lane, St. Petersburg, 194021 Russia, igogo011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5779-5404>

**Lyubov Yu. Novikova**, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Department of Automatic Information Systems, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, l.novikova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4051-3671>

**Ramazan A. Shauharov**, Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Volgograd Experiment Station – a branch of VIR, 30, Sredneakhtubinsky District, Krasnoslobodsk, Volgograd Region, 404160 Russia, romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>

**Margarita A. Vishnyakova**, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, Department of Grain Legume Genetic Resources, 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>

**Вклад авторов:** Кручина-Богданов И.В. – проведение анализа, получение данных; Шаухаров Р.А. – полевое фенотипирование; Новикова Л.Ю. – статистический и агрометеорологический анализ и интерпретация данных; Вишнякова М.А. – концепция, написание, редактирование.

**Contribution of the authors:** Kruchina-Bogdanov I.V. – analysis, data acquisition; Shaukharov R.A. – field phenotyping; Novikova L.Yu. – statistical and agrometeorological analysis and interpretation of data; Vishnyakova M.A. – concept, writing, editing.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 07.10.2025; одобрена после рецензирования 02.12.2025; принята к публикации 22.12.2025.

The article was submitted on 07.10.2025; approved after reviewing on 02.12.2025; accepted for publication on 22.12.2025.



## Новые интрогрессивные линии ярового ячменя, созданные на основе межвидовых гибридов *Hordeum vulgare* L. с *H. bulbosum* L.

Г. И. Пендинен<sup>1</sup>, В. Е. Чернов<sup>2,3</sup>, К. А. Жаринов<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

<sup>2</sup> Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский Государственный технологический институт (Технический университет), Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> ГК Люмэкс, Санкт-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Галина Ивановна Пендинен, [pendinen@mail.ru](mailto:pendinen@mail.ru)

**Актуальность.** Привлечение чужеродного генетического материала ячменя луковичного *Hordeum bulbosum* L. для расширения разнообразия ячменя культурного *Hordeum vulgare* L. является важной задачей. Одним из путей использования генетического потенциала ячменя луковичного служит межвидовая гибридизация и получение на основе гибридов фертильных интрогрессивных линий *H. vulgare*. Целью исследования было создание и изучение интрогрессивных линий (ИЛ) культурного ячменя, полученных на основе межвидовых гибридов с ячменем луковичным. **Материал.** Отбор ИЛ *Hordeum vulgare* с чужеродными интрогрессиями проводили в поколениях от самоопыления растений ячменя, полученных в результате опыления культурного ячменя частично фертильной пылью межвидовых гибридов: триплоидного *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) и тетраплоидного *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv). Изучали созданные в процессе работы 21 ИЛ с терминальными интрогрессиями генетического материала ячменя луковичного в различных плечах хромосом: 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 1HL+3HS, 6HS. **Методы.** Для выявления и идентификации интрогрессий и анализа их сохранения при полевой репродукции использовали метод флюоресцентной ДНК-ДНК гибридизации *in situ* (FISH, GISH). Растения линий выращивали в полевых условиях без изоляции колоса. У ИЛ определяли показатели фертильности и продуктивности: число зерен в колосе, озерненность колоса в %, массу зерна с колоса и массу 1000 зерен. Показатели качества зерна: содержание белка и сырой клетчатки определяли в процентах от общей сухой массы зерна неразрушающим методом спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК). **Результаты.** На основе межвидовых гибридов создана 21 ИЛ культурного ячменя с терминальными интрогрессиями генетического материала ячменя луковичного в хромосомах 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 6HS, 1HL+3HS. Для всех ИЛ, как и для родительского сорта, характерно закрытое цветение, они сохраняют интрогрессии в потомстве при культивировании в поле без изоляции. Большинство ИЛ по показателям фертильности и продуктивности соответствуют культурному ячменю. Среди ИЛ с терминальной интрогрессией в длинном плече хромосомы 2HL выявлены формы с различной фертильностью. Озерненность колоса у этих форм связана с размером чужеродной интрогрессии. ИЛ 2.1.2.2.2, 2.1.2.2.6 и 2.1.1.3.1.4 с размером чужеродного фрагмента, визуально схожим с исходным, характеризуются низкой озерненностью колоса (менее 22%). Уменьшение размера терминальной интрогрессии приводит к восстановлению фертильности. Анализ качества зерна 18 ИЛ культурного ячменя показал, что для линий 1.4.1.1 с интрогрессией в хромосоме 3HS, а также 1.3.1 и 1.4.2.1 с двумя интрогрессиями 1HL+3HS отмечена тенденция повышения содержания белка в зерне по сравнению с исходным сортом 'Roland'. **Выводы.** Создана 21 ИЛ ячменя с терминальными интрогрессиями в различных хромосомах: 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 6HS, 1HL+3HS. Из них 18 представляют собой высокофертильные формы ячменя, для которых характерно закрытое цветение и самоопыление, что обеспечивает сохранение интрогрессированных чужеродных фрагментов хромосом в последующих поколениях. Для ИЛ с интрогрессией в хромосоме 2HL выявлена зависимость фертильности от размера терминального чужеродного фрагмента. У ИЛ, несущих фрагмент генетического материала *H. bulbosum* в терминальном участке короткого плеча хромосомы 3H, выявлено более высокое содержание белка в зерне по сравнению с исходным сортом 'Roland'.

**Ключевые слова:** ячмень, *Hordeum vulgare*, *Hordeum bulbosum*, межвидовая гибридизация, чужеродная интрогрессия, интрогрессивная линия, геномная *in situ* гибридизация

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

**Для цитирования:** Пендинен Г.И., Чернов В.Е., Жаринов К.А. Новые интрогрессивные линии ярового ячменя, созданные на основе межвидовых гибридов *Hordeum vulgare* L. с *H. bulbosum* L. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):29-45. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-03

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

© Пендинен Г.И., Чернов В.Е., Жаринов К.А., 2025

## Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-03

## New introgressive lines of spring barley, which were obtained on the basis of interspecific hybrids between *Hordeum vulgare* L. and *H. bulbosum* L.

Galina I. Pendinen<sup>1</sup>, Vladimir E. Chernov<sup>2,3</sup>, Konstantin A. Zharinov<sup>4,5</sup><sup>1</sup>N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Russia<sup>2</sup>S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia<sup>3</sup>Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia<sup>4</sup>Saint-Petersburg State Institute of Technology, St. Petersburg, Russia<sup>5</sup>Lumex, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Galina I. Pendinen, pendinen@mail.ru

**Background.** Involving alien genetic material of *Hordeum bulbosum* in the genome for the expansion of the genetic diversity of cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.) is an important task because this species is characterized by a number of valuable traits. One of the ways of using the genetic potential of bulbous barley is the interspecific hybridization and the production of fertile introgression lines of *H. vulgare* on the basis of interspecific hybrids. The purpose of the study was to synthesize and study introgression lines (IL) of cultivated barley developed using interspecific hybrids with bulbous barley. **Materials.** *H. vulgare* ILs with alien introgressions were selected in generations from self-pollination of barley plants obtained by pollination of cultivated barley with partially fertile pollen of interspecific hybrids *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) and *H. bulbosum* I:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv). The study involved a total of 21 developed ILs with terminal introgression of bulbous barley genetic material in different chromosome arms, namely 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 1HL+3HS, 6HS. **Methods.** DNA-DNA *in situ* hybridization (FISH, GISH) was employed to detect and identify introgressions and analyze their retention during field reproduction. Plants of the lines were grown in the field without isolation of spikes. Characteristics of fertility and productivity of ILs (number of grains per spike, spike grain content (%), grain weight per spike, and 1000-kernel weight) were determined. Grain quality parameters, i.e. protein and crude fiber content, were determined as a percentage of the total dry weight of the grain using a non-destructive method of near-infrared (NIR) spectroscopy. **Results.** Based on interspecific hybrids, 21 cultivated barley ILs were created with terminal introgression of bulbous barley genetic material in chromosomes 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 6HS, and 1HL+3HS. All lines, like the parent cultivar, are characterized by closed flowering, and the lines retain their introgression in their progeny when grown in the field without isolation. Most of the ILs match cultivated barley in fertility and productivity. Among the ILs with terminal introgression on the long arm of chromosome 2HL, forms with varying fertility were identified. Spike grain content in these forms is associated with the size of the foreign introgression: ILs 2.1.2.2.2, 2.1.2.2.6 and 2.1.1.3.1.4 with an introgression of a size visually similar to the original, are characterized by low spike grain content (less than 22%). A decrease in the size of the terminal introgression leads to the restoration of fertility. Analysis of the grain quality of 18 cultivated barley lines showed a tendency towards an increase in the protein content in the grain of line 1.4.1.1 with an introgression on chromosome 3HS, as well as of lines 1.3.1 and 1.4.2.1 with two introgressions 1HL+3HS, compared to the original cultivar 'Roland'. **Conclusions.** Twenty-one barley introgression lines with terminal introgressions on various chromosomes (1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 6HS, and 1HL+3HS) were developed. Of these, 18 are highly fertile forms of barley, characterized by closed flowering and self-pollination, which ensures the retention of the introgressed foreign chromosome fragments in subsequent generations. For the ILs with an introgression on chromosome 2HL, a dependence of fertility on the size of the foreign terminal fragment was revealed. The ILs carrying a fragment of *H. bulbosum* genetic material in the terminal region of the short arm of chromosome 3H were found to have a higher grain protein content compared to the original cultivar 'Roland'.

**Keywords:** barley, *Hordeum vulgare*, *Hordeum bulbosum*, interspecific hybridization, alien introgression, introgressive line, genomic *in situ* hybridization

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, topic No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and grain crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

**For citation:** Pendinen G.I., Chernov V.E., Zharinov K.A. New introgressive lines of spring barley, which were obtained on the basis of interspecific hybrids between *Hordeum vulgare* L. and *H. bulbosum* L. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):29-45. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-03

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

© Pendinen G.I., Chernov V.E., Zharinov K.A., 2025

## Введение

Отдаленная гибридизация является одним из важных источников расширения разнообразия видов культурных растений. Один из путей привлечения генетического потенциала дикорастущих сородичей для расширения генетического разнообразия различных культурных видов – создание на основе межвидовых гибридов интрогрессивных линий с рекомбинантными хромосомами, несущими фрагменты чужеродной ДНК (Wang et al., 1999; Nagy et al., 2002; Johnston et al., 2009; Scholz et al., 2009; Molnar-Lang, Linc, 2015; Ivanizs et al., 2018; Pendinen et al., 2018; Gavrilenko et al., 2022).

Дикорастущие виды рода *Hordeum* в зависимости от возможности использования в селекции культурного ячменя относят к первичному, вторичному и третичному генному пулу (Bothmer et al., 1992). Первичный генный пул включает все многообразие *H. vulgare*: селекционные и местные сорта, дикорастущие подвиды, такие как *H. vulgare* ssp. *spontaneum*, которые свободно скрещиваются с культурным ячменем, дают плодовитое потомство. К вторичному генетическому пулу относят ячмень луковичный *H. bulbosum*. Третичный генный пул составляют все остальные виды, в настоящее время генофонд этих видов не использован для расширения генетического разнообразия *H. vulgare* из-за репродуктивных барьеров и межвидовой несовместимости на разных стадиях развития гибридов (Bothmer et al., 1992). *H. bulbosum* L. – единственный дикорастущий представитель рода, успешно используемый в интрогрессивной гибридизации ячменя культурного *H. vulgare* L. (Szigat, Pohler, 1982; Pickering, 1988; Zhang et al., 2001; Scholz et al., 2009; Pendinen et al., 2018). Это многолетний вид, среди образцов которого встречаются диплоидные и тетраплоидные формы (Bothmer et al., 1991). Для *H. bulbosum* характерно перекрестное опыление и самонесовместимость, поэтому отобранные для работы растения обычно поддерживают в коллекции в виде клонов. Как и культурный ячмень, ячмень луковичный относится к секции *Hordeum* рода *Hordeum*. Для геномов этих двух видов характерна высокая степень коллинеарности всех групп сцепления (Wendler et al., 2017).

Генофонд *H. bulbosum* L. является источником для расширения генетического разнообразия ячменя культурного при межвидовой гибридизации. Образцы этого вида характеризуются рядом ценных признаков, таких как устойчивость к мучнистой росе, стеблевой и листовой ржавчине, септориозной крапчатой пятнистости листьев, вирусам мозаики ячменя VaMMV, VaYMV и желтой карликовости ячменя BYDV; показана возможность их переноса в геном культурного ячменя (Jones, Pickering, 1978; Michel, 1996; Ruge et al., 2003; Toubia-Rahme et al., 2003; Ruge-Wehling et al., 2006; Scholz et al., 2009; Hoseinzadeh et al., 2020; Pidon et al., 2021; Yu et al., 2018; 2022). Кроме того, интрогрессия генетического материала ячменя луковичного может влиять и на другие хозяйственно цен-

ные признаки. Так, у линии ячменя, созданной на основе сорта 'Igrı' с терминальной интрогрессией генетического материала ячменя луковичного в хромосоме 2HS, отмечено более высокое содержания белка в зерне по сравнению с исходным сортом (Pendinen et al., 2018). Созданы серии интрогрессивных линий культурного ячменя, несущих фрагменты генетического материала ячменя луковичного в различных хромосомах (Pickering, 1988; Johnston, Pickering, 2002; Johnston et al., 2009; Pickering et al. 1994; Zhang et al., 2001; Scholz et al., 2009; Pendinen et al., 2018).

В основе интрогрессии генетического материала *H. bulbosum* в геном культурного ячменя лежит гомеологичная рекомбинация в мейозе у гибридов (Zhang et al., 1999; Pickering et al., 2004; 2006; Scholz, Pendinen, 2017; Pendinen, Scholz, 2020). Быстрое получение рекомбинантных форм культурного ячменя на основе межвидовых гибридов с ячменем луковичным связано с особенностями взаимодействия геномов этих видов в гибридном геноме, приводящее к элиминации хромосом *H. bulbosum*. При скрещивании *H. vulgare* с *H. bulbosum* в потомстве могут наблюдаться межвидовые гибриды, или гаплоиды культурного ячменя (Lange, 1971a; 1971b; Kasha, Kao, 1970). При соотношении геномов 1Hv : 1Hb в гибридном зародыше результат скрещивания в значительной степени зависит от генотипов используемых родительских форм (Ho, Kasha, 1975; Fukuyama, Hosoya, 1983; Thomas, Pickering, 1983; Devaux, 2003; Pendinen et al., 2024). В ряде комбинаций скрещиваний при соотношении плоидности родительских видов 1Hv : 1Hb с использованием сортов ячменя 'Emir' (2x) в комбинации с *H. bulbosum* (2x) (Zhang et al., 1999; Pickering et al., 2004; 2006) и 'Borwina' (4x) в комбинации с *H. bulbosum* (4x) (Szigat, Pohler, 1982; Scholz, Pendinen, 2017) получены цитогенетически стабильные гибриды. При скрещивании диплоидных форм *H. vulgare* с тетраплоидными образцами *H. bulbosum* (4x) результатом являются стабильные по хромосомному составу триплоидные гибриды (H<sup>a</sup>H<sup>b</sup>H<sup>c</sup>) (Lange, 1971a; Pickering, 1988; 1991). При возвратных скрещиваниях гибридов с ячменем культурным соотношение числа геномов в зародышах оказывается смещенным в сторону увеличения дозы генома ячменя культурного, в результате этого в эмбриогенезе происходит элиминация хромосом дикорастущего ячменя. В поколении BC<sub>1</sub> наблюдаются только растения *H. vulgare*, среди которых могут быть выявлены формы с рекомбинантными хромосомами, несущими генетический материал ячменя луковичного. Далее в поколениях от самоопыления таких форм отбирают линии культурного ячменя с чужеродным генетическим материалом в обоих гомологах.

Создаваемые интрогрессивные линии должны представлять собой жизнеспособные формы культурного ячменя с высокой фертильностью. Кроме того, необходимо, чтобы эти линии были самоопылителями, что позволило бы сохранить чужеродные интрогрессии при воспроизведении в полевых условиях.

С использованием триплоидного гибрида

*H. vulgare* 'Igrі' (2x) × *H. bulbosum* (4x) нами уже создана серия озимых линий, имеющих фенотип *H. vulgare* и характеризующихся высокой озерненностью колоса (Scholz et al., 2009; Pendinen et al, 2018). Однако важной задачей является расширение разнообразия интрогрессивных форм с привлечением различных клонов ячменя луковичного и сортов ячменя культурного.

Цель нашего исследования – создание яровых интрогрессивных линий (ИЛ) культурного ячменя *H. vulgare* на основе двух межвидовых гибридов: триплоидного *H. vulgare* 'Roland' × *H. bulbosum* W851 (H<sup>v</sup>H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>) и тетраплоидного – *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>H<sup>v</sup>H<sup>v</sup>); характеристика их фертильности и продуктивности, а также анализ сохранения чужеродного генетического материала в геноме линий при их воспроизведении в полевых условиях.

## Материалы и методы

Отбор ИЛ ячменя *Hordeum vulgare* L. проводили на основе двух межвидовых гибридов: *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (H<sup>v</sup>H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>) и *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>H<sup>v</sup>H<sup>v</sup>). Культурный ячмень сорта 'Roland' опыляли частично фертильной пылью гибридов. В потомстве от этого скрещивания с использованием метода геномной *in situ* гибридизации (GISH) были отобраны три растения *H. vulgare* с интрогрессиями генетического материала ячменя луковичного (Pendinen, 2021). В последующих поколениях от самоопыления этих растений BC<sub>1</sub> отбирали формы с терминальными интрогрессиями в обоих гомологах.

На рисунке 1 представлена схема получения интрогрессивных линий на основе триплоидного гибрида *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (H<sup>v</sup>H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>).

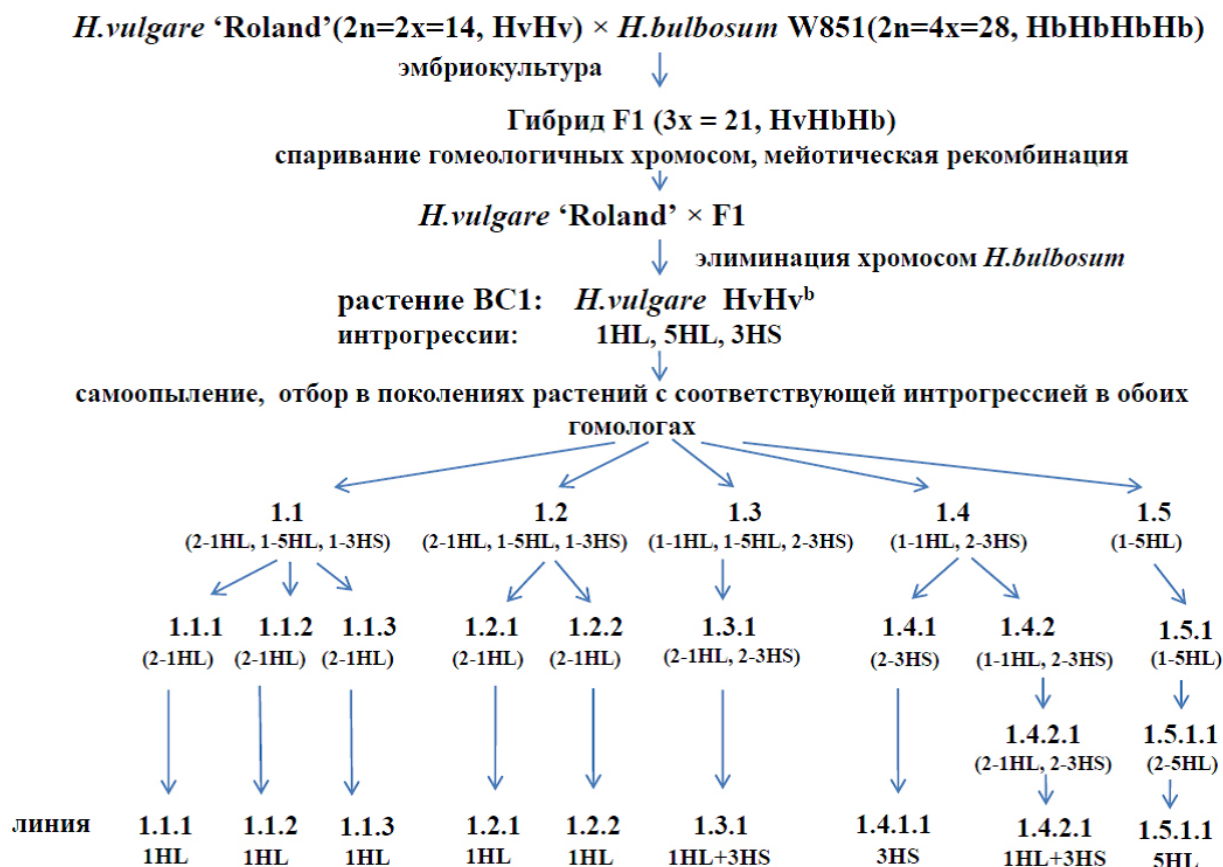


Рис. 1. Схема создания интрогрессивных линий *Hordeum vulgare* на основе гибрида *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (H<sup>v</sup>H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>)

Fig. 1. Scheme for creating *Hordeum vulgare* introgression lines using the hybrid *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (H<sup>v</sup>H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>)

На рисунке 2 представлена схема получения интрогрессивных линий на основе тетраплоидного гибри-

да *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv).

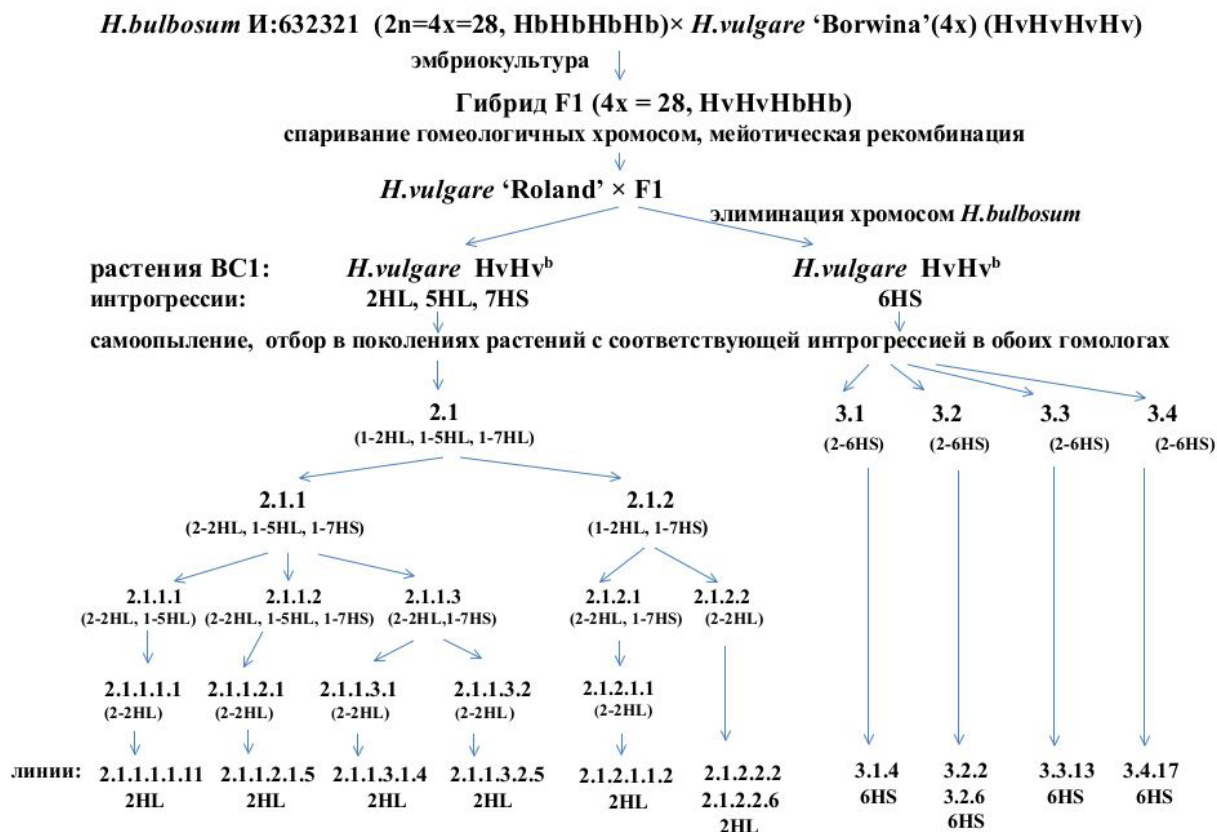


Рис. 2. Схема создания интрогрессивных линий *H. vulgare* на основе гибрида *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv)

Fig. 2. Scheme for creating *Hordeum vulgare* introgression lines using the hybrid *H. bulbosum* I:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv)

Линии с терминальными интрогрессиями генетического материала ячменя луковичного в различных хромосомах созданы на основе триплоидного гибрида *H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) (1HL – шесть линий, 3HS – одна линия, 1HL+3HS – две линии, 5HL – одна линия) и тетраплоидного гибрида *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv) (2HL – шесть линий, 6HS – пять линий). Всего было отобрано 21 ИЛ.

Отбор линий с интрогрессией чужеродного генетического материала в обоих гомологах и анализ сохранения интрогрессий при репродукции линий без изоляции проводили с использованием флуоресцентной *in situ* гибридизации (FISH, GISH). После репродукции в полевых условиях без изоляции колоса случайно отбирали по пять зерен каждой линии и у полученных из них проростков проверяли наличие соответствующей пары рекомбинант-

ных хромосом.

**Флуоресцентная *in situ* гибридизация (FISH, GISH).** Для цитогенетического анализа корешки проростков помещали в воду со льдом (0°C) на сутки, затем в фиксатор 3:1 (96% этиловый спирт : ледяная уксусная кислота), зафиксированный материал хранили в морозильнике (-20°C) до его использования. Подготовку препаратов, мечение ДНК, флуоресцентную *in situ* гибридизацию проводили по ранее описанной методике (Scholz et al., 2009; Scholz, Pendinen, 2017). Геномную ДНК *H. bulbosum* и плазмидную ДНК, несущую 18S/25S рДНК (зонд Ver17) (Yakura, Tanifuji, 1983) метили посредством nick –трансляции с использованием Digoxigenin- (DIG) или Biotin-(BIO) Nick Translation Labeling Kit (Jena Bioscience, Германия), последовательность 5S рДНК метили путём полимеразной цепной реакции (ПЦР) по матрице ДНК *H. vulgare* 'Igr1'

с использованием праймеров согласно Gottlob-McHugh с соавторами (Gottlob-McHugh et al., 1990). Для выявления и идентификации интрогрессий использовали флюоресцентную *in situ* гибридизацию с дифференциально мечеными геномной ДНК *H. bulbosum* (DIG) и ДНК хромосомоспецифичных маркеров культурного ячменя: 5S рДНК (BIO) – сайты гибридизации локализованы в 2HL, 3HL, 4HS, 7SH и 18S/25S рДНК (BIO) – в 1HS, 5HS, 6HS (Scholz et al., 2009; Scholz, Pendinen, 2017). Для анализа препаратов, создания и обработки изображений использовали эпифлюоресцентный микроскоп AxioImager M2 с камерой AxioCamMRm и программным обеспечением AxioVision Rel 4.8 для получения, обработки и анализа изображений и управления моторизованными частями микроскопа (Carl Zeiss microscopy GmbH, Germany). Для корректировки яркости и контраста изображений использовали программу Adobe Photoshop 6.0.

**Анализ фертильности и продуктивности.** Для оценки озерненности линий учитывали процент завязавшихся зерновок от числа цветков в главном колосе не менее чем у десяти растений на образец. Озерненность определяли как средний процент завязываемости в изученной выборке. Для этих же колосьев определяли среднюю массу зерна с колоса. Для изучаемых линий определяли массу 1000 зерен. Для определения массы использовали весы L610D Sartorius (Sartorius AG, Germany).

**Анализ количества белка и сырой клетчатки в зерне.** Содержание белка и сырой клетчатки в процентах от общей сухой массы зерна определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК), используя БИК анализатор ИнфраЛИОМ ФТ-12 (ГК Люмэкс, Россия). Пробу цельного неразрушенного зерна объемом 45-50 мл помещали в кювету анализатора. Анализатор регистрировал спектр пропускания образца с последующим автоматическим вычислением значений искомых показателей, используя ранее созданные градуировочные модели. Градуировочная модель – это многомерная зави-

симость, связывающая спектральные данные образцов конкретного типа зерна с их референтными значениями содержания искомого показателя. Референтные значения содержания белка и сырой клетчатки в ячмене определяли по ГОСТ 10846 и ГОСТ 31675 соответственно.

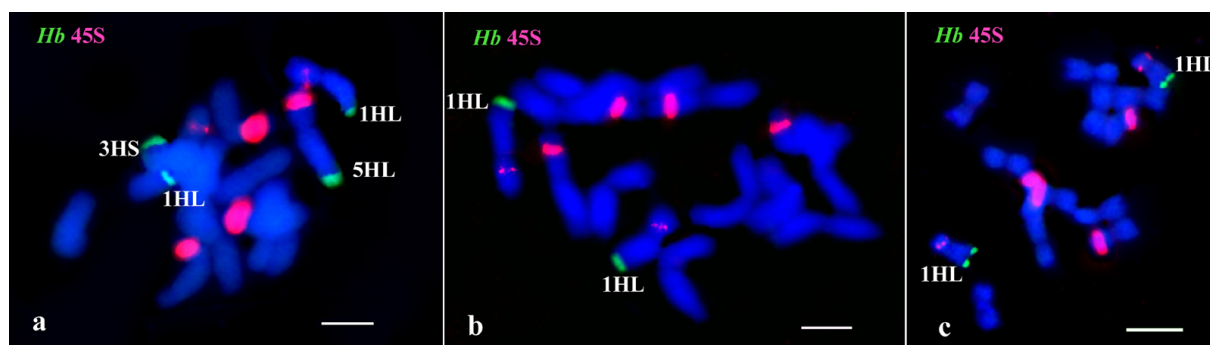
## Результаты и обсуждение

**Отбор линий и подтверждение наличия интрогрессий после воспроизведения линий в полевых условиях.** В потомстве растения BC<sub>1</sub> триплоидного гибрида *Hordeum vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) с тремя выявленными рекомбинантными хромосомами (Pendinen, 2021) отобраны линии двурядного ячменя *H. vulgare* с терминальными интрогрессиями в обоих гомологах хромосом 1HL (пять линий), 3HS (одна линия), 1HL+3HS (две линии), 5HL (одна линия).

Линии с терминальной интрогрессией генетического материала ячменя луковичного в длинном плече хромосомы 1H (рис. 3b) отобраны в потомстве двух растений от самоопыления исходного BC<sub>1</sub>: 1.1 и 1.2, которые имели четыре рекомбинантные хромосомы, две из них с интрогрессией в обоих гомологах 1HL (рис. 3a).

Интрогрессивная линия ИЛ 1.4.1.1 с парой рекомбинантных хромосом 3HS (рис. 4e), ИЛ 1.4.2.1 (рис. 4c) с двумя парами 1HL+3HS отобраны в потомстве двух растений из семьи 1.4: 1.4.1 (рис. 4a) и 1.4.2 (рис. 4b), а линия 1.3.1 с двумя парами 1HL+3HS – в потомстве растения 1.3 от самоопыления BC<sub>1</sub>.

У отобранных линий 1HL, 3HS и 1HL+3HS терминальные интрогрессии чужеродного генетического материала небольшие, но хорошо различимы при GISH анализе (см. рис. 3b; рис. 3c; рис. 4c, e; рис. 4d, f). При создании линий с рекомбинантными хромосомами во всех поколениях наблюдали нормальную жизнеспособность и фертильность растений.

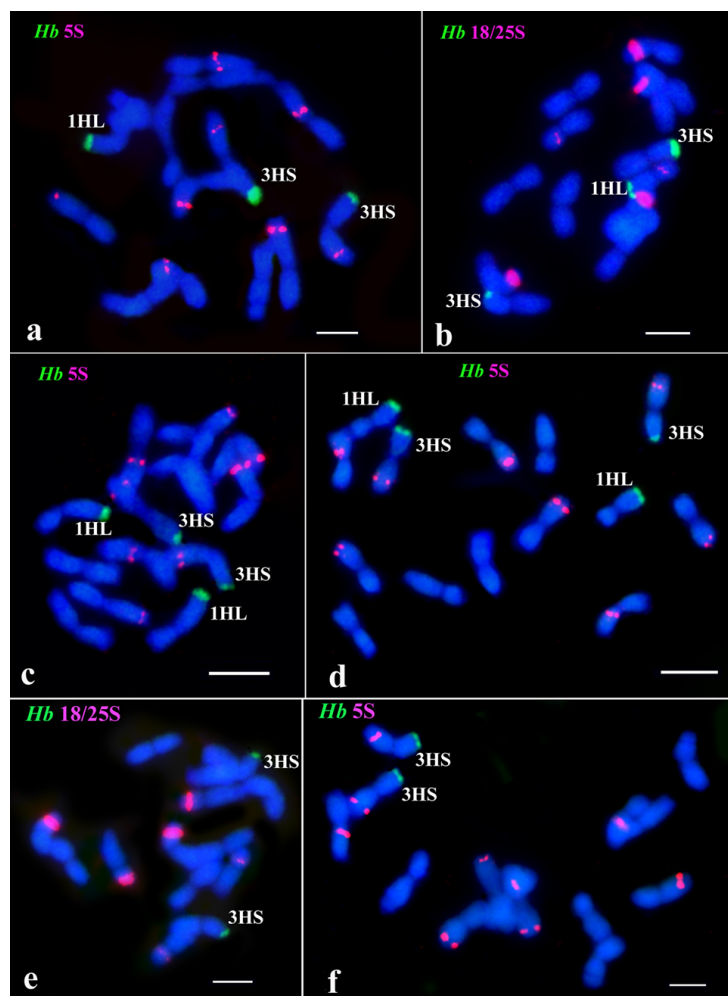


**Рис. 3. Идентификация генетического материала *H. bulbosum* при отборе и репродукции ИЛ с рекомбинантной хромосомой 1HL *H. vulgare* в полевых условиях**

a – растение 1.1; b – ИЛ 1.1.3; c – ИЛ 1.1.3 после трех полевых репродукций

**Fig. 3. Identification of *H. bulbosum* genetic material during selection and reproduction of the IL with the recombinant 1HL chromosome of *H. vulgare* in the field**

a – plant 1.1; b – IL 1.1.3; c – IL 1.1.3 after three reproductions in the field



**Рис. 4. Идентификация генетического материала *Hordeum bulbosum* при отборе и репродукции в полевых условиях ИЛ с рекомбинантной хромосомой 3HS и двумя рекомбинантными хромосомами (3HS+1HL) *H. vulgare***

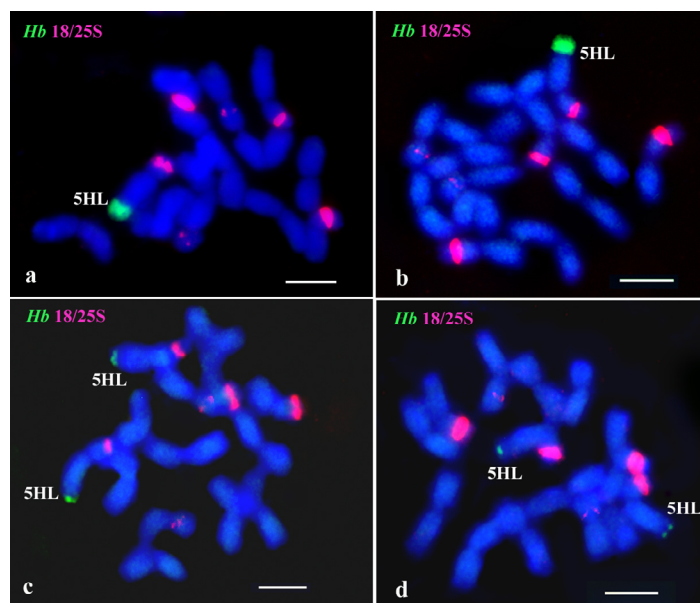
a – растение 1.4.1; b – растение 1.4.2; c – ИЛ 1.4.2.1 (3HS+1HL); d – ИЛ 1.4.2.1 после двукратной полевой репродукции; e – ИЛ 1.4.1.1 (3HS); f – ИЛ 1.4.1.1 после трехкратной полевой репродукции

**Fig. 4. Identification of *H. bulbosum* genetic material during selection and reproduction in the field of ILs with the recombinant chromosome 3HS and two recombinant chromosomes (3HS+1HL) of *H. vulgare***

a – plant 1.4.1; b – plant 1.4.2; c – IL 1.4.2.1 (3HS+1HL); d – IL 1.4.2.1 after two reproductions in the field; e – IL 1.4.1.1 (3HS); f – IL 1.4.1.1 after three reproductions in the field

Исходный размер чужеродной интрогрессии в хромосоме 5HL (рис. 5a) визуально значительно больше, чем в 1HL и 3HS. Как было установлено ранее, растения с этой интрогрессией в обоих гомологах погибают на стадии проростков (Pendinen, 2021). В потомстве растения 1.5.1 с интрогрессией исходного размера (рис. 5b) отобрана жизнеспособная линия с парой рекомбинантных хромосом 5HL с терминальной интрогрессией значительно меньшего размера, чем исходная (рис. 5c), которая не теряется при репродукции линии в полевых условиях без изоляции колоса (рис. 5d).

Интрогрессивные линии с терминальной интрогрессией в 2HL отобраны в потомстве растений с интрогрессиями различного размера в двух гомологах этой хромосомы (рис. 6a, b). У трех линий с рекомбинантной хромосомой 2HL: 2.1.2.2.2, 2.1.2.2.6 и 2.1.1.3.1.4 (рис. 6e, f) размер чужеродного фрагмента визуально сходен с исходным и значительно длиннее, чем у линий 2.1.2.1.1.2, 2.1.1.1.1.11, 2.1.1.3.2.5 и 2.1.1.2.1.5. (рис. 6c, d).

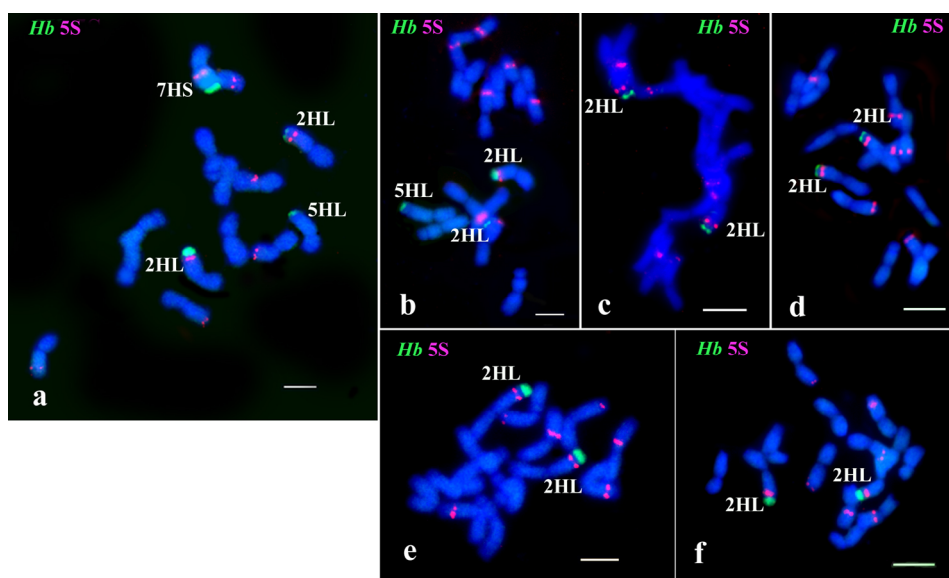


**Рис. 5. Идентификация генетического материала *H. bulbosum* при отборе и репродукции в полевых условиях ИЛ с рекомбинантной хромосомой 5HL**

a – растение 1.5; b – растение 1.5.1; c – ИЛ 1.5.1.1; d – ИЛ 1.5.1.1 после двукратной полевой репродукции

**Fig. 5. Identification of *H. bulbosum* genetic material during selection and field reproduction of the IL with the recombinant chromosome 5HL**

a – plant 1.5; b – plant 1.5.1; c – IL 1.5.1.1; d – IL 1.5.1.1 after two reproductions in the field



**Рис. 6. Идентификация генетического материала *H. bulbosum* при отборе и репродукции в полевых условиях ИЛ с рекомбинантной хромосомой 2HL**

a – растение 2.1.1; b – растение 2.1.1.1; c – ИЛ 2.1.1.1.1.1.1; d – ИЛ 2.1.1.1.1.1.1.1 после полевой репродукции;  
e – ИЛ 2.1.1.3.1.4; f – ИЛ 2.1.1.3.1.4 после полевой репродукции;

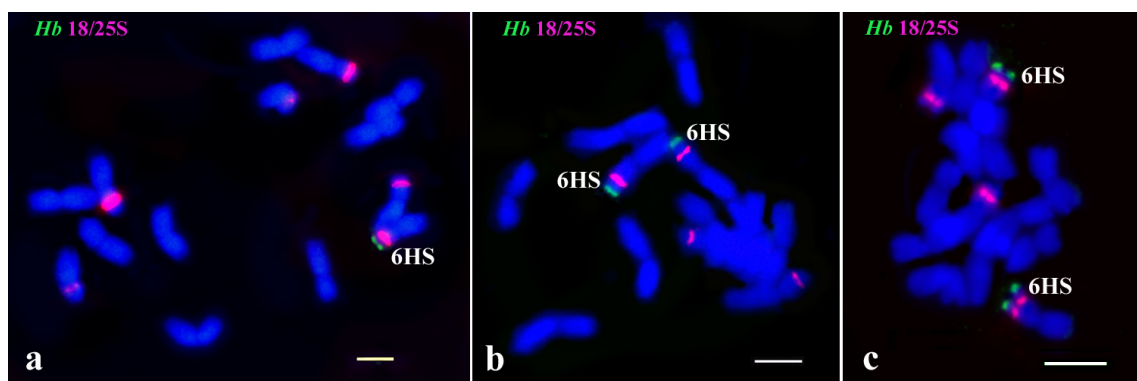
**Fig. 6. Identification of *H. bulbosum* genetic material during selection and field reproduction of ILs with the recombinant chromosome 2HL**

a – plant 2.1.1; b – plant 2.1.1.1; c – IL 2.1.1.1.1.1.1; d – IL 2.1.1.1.1.1.1.1 after reproduction in the field;  
e – IL 2.1.1.3.1.4; f – IL 2.1.1.3.1.4 after reproduction in the field

Размеры чужеродных фрагментов в хромосоме 6HS у всех ИЛ и исходного растения BC<sub>1</sub> невелики и визуаль-но неразличимы (рис. 7а, б).

Для растений всех изучаемых ИЛ, как и для роди-тельских сортов, характерно закрытое цветение, созре-вание пыльцы и растрескивание пыльников в глав-ном колосе происходит, как и у родительского вида

*H. vulgare*, в закрытом цветке, когда колос начина-ет выходить из трубки. Анализ кариотипов растений из случайно выбранных зерен второй и третьей поле-вой репродукции не выявил форм, отличных от исход-ного материала по составу чужеродных интрогрессий (см. рис. 3б, с; рис. 4д, ф; рис. 5с, д; рис. 6д, ф; рис. 7 б, с).



**Рис. 7. Идентификация генетического материала *Hordeum bulbosum* при отборе и репродукции в полевых условиях ИЛ с рекомбинантной хромосомой 6HS *H. vulgare***

а – растение BC<sub>1</sub> с рекомбинантной хромосомой 6HS; б – ИЛ 3.4.17; с – ИЛ 3.4.17 после двукратной полевой репродукции

**Fig. 7. Identification of *Hordeum bulbosum* genetic material during selection and field reproduction of the IL with the recombinant chromosome 6HS of *H. vulgare***

а – plant 1.1; б – IL 3.4.17; с – IL 3.4.17 after two reproductions in the field

**Озерненность колоса.** Одной из важных характери-стик, связанных с урожайностью, является озерненность колоса. У всех линий, созданных на основе триплоидного гибрида *H. vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) наблюдали высокую озерненность колоса при репродукции линий в полевых условиях (в сред-

нем, более 90 %). По этому показателю, а также по чис-лу цветков в колосе эти линии схожи с сортом ячменя ‘Roland’, на основе которого они созданы (табл. 1). По числу цветков в колосе все ИЛ, полученные на осно-ве триплоидного гибрида, так же схожи с родительским сортом ячменя (см. табл. 1).

**Таблица 1. Характеристика озерненности колоса ИЛ, полученных на основе межвидового гибрида *Hordeum vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb)**

Пушкин, 2022-2024 годы

**Table 1. Characteristics of the spike grain content in the IL developed using the interspecific hybrid *H. vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb)**

Pushkin, 2022-2024

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Год/ Year	Число цветков в колосе/ Number of flowers per spike	Число зерен в колосе/ Number of grains per spike	Озерненность колоса, %/ Spike grain content, %
1.1.1	1HL	2022-2023	21,3±0,58* (21,0-21,6)**	20,0±0,65* (19,04-20,3)**	93,9±1,56* (91,9-95,5)**
1.1.2	1HL	2022-2023	21,8±0,48 (20,4-22,9)	20,5±0,51 (18,2-21,9)	93,7±1,68 (89,1-96,3)
1.1.3	1HL	2022-2023	21,4±0,41 (19,7-23,8)	18,6±0,40 (17,1-21,8)	92,2±1,71 (89,4-96,8)

Таблица 1. (Продолжение)

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Год/ Year	Число цветков в колосе/ Number of flowers per spike	Число зерен в колосе/ Number of grains per spike	Озерненность колоса, %/ Spike grain content, %
1.2.2	1HL	2022-2023	21,2±0,55* (20,7-23,3)**	20,8±0,64* (20,0-22,4)**	93,7±1,72* (88,1-96,8)**
1.2.1	1HL	2022-2023	22,2±0,54 (21,1-23,6)	20,5±0,60 (18,5-22,6)	92,4±1,49 (84,1-97,1)
1.4.1.1	3HS	2022-2023	24,4±0,54 (21,7-26,1)	23,1±0,62 (20,9-25,0)	94,2±1,12 (90,6-96,1)
1.3.1	1HL+3HS	2022-2023	22,3±0,48 (20,4-23,6)	20,7±0,59 (19,0-22,1)	92,9±1,64 (89,1-96,2)
1.4.2.1	1HL+3HS	2023, 2024	22,9±0,67 (20,9-24,4)	21,7±0,74 (19,6-23,4)	93,5±1,52 (93,7-96,0)
1.5.1.1	5HL	2023, 2024	23,1±0,89 (21,7-24,7)	22,9±0,86 (21,2-23,7)	95,1±3,76 (90,0-98,1)
<i>H. vulgare</i> 'Roland'	-	2022-2024	22,1±0,57 (21,1-23,5)	21,0±0,29 (20,2-22,6)	95,0±1,45 (93,6-96,2)

\* – приведены средние значения и ошибка среднего / the mean values and the error of the mean are given

\*\* – варьирование средних значений в разные годы исследований / variation of average values in different years of research

У линий с рекомбинантной хромосомой 2HL, созданных на основе тетраплоидного гибрида *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x), озерненность колоса различна и зависит от количества чужеродного материала. У линий 2.1.2.2.2, 2.1.2.2.6 и 2.1.1.3.1.4 с размером интрогрессии визуально близким к исходному (см. рис. 6е, f) наблюдается низкая озерненность колоса: от 16,04% до 22,04% (табл. 2). Линию 2.1.2.2.2 высевали в поле в 2023 и 2024 годах и в обоих случаях наблюдали низкую озерненность колоса: в среднем 17,9% в 2023 году и 17,1% в 2024 году. У линий 2.1.2.1.1.2, 2.1.1.1.1.11, 2.1.1.3.2.5 и 2.1.1.2.1.5 с терминальной интрогрессией, которая визуально значительно меньше исходной (см. рис. 6с, d), озерненность колоса выше. У линий 2.1.1.1.1.11 и 2.1.1.2.1.5 этот показатель составляет в среднем 55,3% и 51,4% соответственно, что несколько ниже, чем у шестирядного родительского сорта ячменя 'Borwina'. У линий 2.1.1.3.5.2 и 2.1.2.1.1.2 озерненность колоса, в среднем 85,1% и 81,1%, соответствует этому показателю у шестирядного родительского сорта (84,9%) (см. табл. 2).

Как ранее было показано, для растения от самоопыления  $BC_1$  с интрогрессиями исходного размера в обоих гомологах хромосомы 2HL характерна практически полная стерильность (Pendinen, 2021). Все линии с рекомбинантной хромосомой 2HL созданы на основе фертильных растений с различающимся по размеру фрагментом *H. bulbosum* в двух гомологах (см. рис. 6а). Различие размеров чужеродного фрагмента в гомологичных хромосомах 2Н свидетельствует о рекомбинации в этом участке. Сокращение размера интрогрессии и сохранение только терминальной части чужеродного фрагмента вследствие гомеологичной рекомбинации хромосом приводит к вос-

становлению фертильности из-за потери части интрогрессии. Это позволяет предположить, что стерильность растения с интрогрессиями исходного размера в обоих гомологах хромосомы 2HL связана с наличием утерянного при гомеологичной рекомбинации проксимального участка интрогрессии.

Среди ИЛ с рекомбинантной хромосомой 2HL число цветков в колосе лишь у одной линии 2.1.1.3.2.5 соответствует родительскому сорту шестирядного ячменя 'Borwina'. У остальных этот показатель несколько ниже (см. табл. 2).

Двурядные (3.2.2, 3.3.13 и 3.4.17) и шестирядные (3.1.4 и 3.2.6) ИЛ с интрогрессией в хромосоме 6HS характеризуются высокой озерненностью. Этот показатель у линий 3.2.2, 3.3.13 несколько различается в разные годы репродукции (см. табл. 2), что, возможно, связано с чувствительностью этих форм к внешним условиям при развитии пыльников и в момент цветения. В целом, для этих линий характерна высокая фертильность.

У двурядных ИЛ с рекомбинантной хромосомой 6HS число цветков в колосе соответствует родительскому сорту ячменя 'Roland', у шестирядных – родительскому сорту ячменя 'Borwina'.

**Масса зерна с колоса и масса 1000 зерен.** Средние значения массы зерна с колоса у линий ИЛ, полученных на основе гибрида *Hordeum vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb), различаются по годам, но в среднем, суммируя результаты различных лет, для большинства этот показатель находится в пределах от 0,83 до 1,02 г (табл. 3). Наименьшее значение – в среднем 0,83 г – отмечено у ИЛ 1.3.1, но это значение также варьирует по годам (см. табл. 3). У ИЛ 2.1.2.2.2 с чужеродной

интрогрессией в хромосоме 5HL отмечена более высокая масса зерна с колоса, чем у остальных линий этой группы (в среднем 1,19 г за три года) (см. табл. 3). Высокое значение этого показателя наблюдали только в 2024 году (1,35 г), в другие годы его значения соответствовали результатам, полученным для исходного сорта ячменя 'Roland'.

В среднем, значение массы 1000 зерен (усредненные данные за 2022, 2023 и 2024 годы) для большей части ИЛ несколько ниже, чем у исходного сорта 'Roland'. У двух линий: 1.2.2 (1HL) и 2.1.2.2.2 (5HL) этот показатель соответствует данным для сорта 'Roland'.

**Таблица 2. Характеристика озерненности колоса интрогрессивных линий, полученных на основе межвидового тетраплоидного гибрида *H. bulbosum* I:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv)**

Пушкин, 2022-2024 годы

**Table 2. Characteristics of the spike grain content in the IL developed using the interspecific hybrid *H. bulbosum* I:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv)**

Pushkin, 2022-2024

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Год/ Year	Число цветков в колосе/ Number of flowers per spike	Число зерен в колосе/ Number of grains per spike	Озерненность колоса, %/ Spike grain content, %
2.1.2.2.2 (6-рядный)*	2HL	2023, 2024	34,2±1,80** (31,2; 37,5)***	5,5±1,10** (5,3; 5,9)***	17,4±5,49** (17,1 ;17,9)***
2.1.2.2.6 (6-рядный)	2HL	2024	34,1±2,59	8,0±2,07	22,0±4,99
2.1.1.3.1.4 (6-рядный)	2HL	2024	42,4±0,78	6,9±1,08	16,0±2,46
2.1.1.1.1.11 (6-рядный)	2HL	2024	30,7±1,48	16,9±1,83	55,3±5,52
2.1.1.2.1.5 (6-рядный)	2HL	2024	35,5±1,86	18,2±1,45	51,4±2,90
2.1.1.3.2.5 (6-рядный)	2HL	2024	54,7±2,04	46,4±2,24	85,1±2,69
2.1.2.1.1.2 (6-рядный)	2HL	2024	45,6±1,83	37,2±2,66	81,1±3,43
3.1.4 (6-рядный)	6HS	2024	55,8±1,09	45,3±2,49	81,0±3,79
3.2.6 (6-рядный)	6HS	2023, 2024	60,8±2,65 (60,0; 61,6)	52,7±2,37 (52,0; 52,9)	86,7±2,57 (85,1; 88,6)
3.2.2 (2-рядный)	6HS	2022-2024	22,3±0,79 (21,7-23,2)	19,3±0,77 (17,9-20,5)	86,1±2,88 (79,1-90,1)
3.3.13 (2-рядный)	6HS	2022-2024	23,4±0,68 (22,2-24,9)	19,2±1,52 (16,3-21,1)	81,4±3,47 (72,7-91,4)
3.4.17 (2-рядный)	6HS	2023, 2024	19,9±0,62 (19,0; 20,6)	18,6±0,67 (17,4; 19,2)	93,5±1,55 (91,1; 93,6)
<i>H. vulgare</i> 'Roland' (2-рядный)	-	2022-2024	22,1±0,57 (21,1-23,5)	21,0±0,29 (20,2-22,6)	95,0±1,45 (93,6-96,2)
<i>H. vulgare</i> 'Borwina' 2x (6-рядный)	-	2024	57,9±2,53	50,10±2,69	84,9±2,62

\* – рядность колоса / row count of the ear

\*\* – приведены средние значения и ошибка среднего / the mean values and the error of the mean are given

\*\*\* – варьирование средних значений в разные годы исследований / variation of average values in different years of research

**Таблица 3. Характеристика продуктивности интрогрессивных линий, полученных на основе межвидового гибрида *Hordeum vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb)**

Пушкин, 2022-2024 годы

**Table 3. Characteristics of the productivity of introgression lines developed using the interspecific hybrid *Hordeum vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb)**

Pushkin, 2022-2024

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Год/ Year	Масса зерна с колоса, г/ Grain weight per spike, g	Масса 1000 зерен, г/ 1000 grains weight, g
1.1.1	1HL	2022-2024	0,94±0,037* (0,87-1,05)**	45,00±0,92* (43,31-46,74)**
1.1.2	1HL	2022-2024	0,99±0,033 (0,87-1,09)	47,95± 1,005 (47,11-47,46)
1.1.3	1HL	2022-2024	0,93±0,37 (0,83-1,05)	47,06±0,944 (46,29-48,16)
1.2.2	1HL	2022-2024	1,01±0,39 (0,94-1,13)	48,23±0,928 (46,73-50,75)
1.2.1	1HL	2022-2024	0,97±0,041 (0,85-1,15)	47,15±0,925 (44,89-50,87)
1.4.1.1	3HS	2022	0,98±0,039 (0,76-1,17)	42,34±1, 096 (36,09-46,85)
1.3.1	1HL+3HS	2022-2024	0,83±0,035 (0,70-0,93)	40,02±1,265 (36,31-44,39)
1.4.2.1	1HL+3HS	2023, 2024	0,94±0,060 (0,76; 1,06)	43,53±1,372 (38,64; 45,25)
2.1.2.2.2	5HL	2023, 2024	1,19±0,670 (1,01; 1,35)	52,33±1,702 (46,71; 56,94)
<i>H. vulgare</i> ‘Roland’	-	2022-2024	1,08±0,036 (1,06-1,09)	51,22±1,573 (47,38-54,02)

\* – приведены средние значения и ошибка среднего / the mean values and the error of the mean are given

\*\* – варьирование средних значений в разные годы исследований / variation of average values in different years of research

Линии ячменя, полученные на основе гибрида *H. vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb), созданы с участием двух различных сортов ячменя, характеристики показателей продуктивности линий могут различаться из-за различного сочетания генов, определяющих эти признаки у ячменя. У шестирядных ИЛ, полученных на основе гибрида *H. vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb), с интрогрессией в хромосоме 2HL, характеризующихся высокой озерненностью колоса, масса зерна с колоса и масса 1000 зерен ниже, чем у одного из родительских сортов – шестирядного сорта ‘Vorwina’ (табл. 4). Двурядные ИЛ 3.2.2, 3.3.13 и 3.4.17 с терминальной интрогрессией в хромосоме 6HS по показателям массы зерна с колоса и массы 1000 зерен близки к одному из родительских сортов –

двурядному сорту ‘Roland’. Для шестирядных ИЛ с интрогрессией в хромосоме 6HS эти показатели ниже, чем у шестирядного родительского сорта (см. табл. 4).

**Показатели качества зерна.** По содержанию белка в зерне линии, созданные на основе триплоидного гибрида *Hordeum vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) с интрогрессиями в хромосомах 1HL и 5HL, близки к показателям исходного сорта ячменя ‘Roland’ (табл. 5). Для линий 1.4.1.1 с интрогрессией в хромосоме 3HS и линий 1.3.1 и 1.4.2.1 с двумя интрогрессиями 1HL+3HS отмечена тенденция повышения содержания белка в зерне по сравнению с родительским сортом ячменя. Содержание сырой клетчатки у всех линий примерно одинаково, но выше чем у ячменя сорта ‘Roland’.

**Таблица 4. Характеристика продуктивности интрогрессивных линий, полученных на основе межвидового гибрида *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* ‘Borwina’ (4x) (HbHbHvHv)**

Пушкин, 2022-2024 годы

**Table 4. Characteristics of the productivity of introgression lines developed using the interspecific hybrid *H. bulbosum* I:632321 (4x) × *H. vulgare* ‘Borwina’ (4x) (HbHbHvHv)**

Pushkin 2022-2024

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Годы/ Years	Масса зерна с колоса, г/ Grain weight per spike, g	Масса 1000 зерен, г/ 1000 grains weight, g
2.1.2.2.2 (6-рядный)*	2HL	2023,2024	0,16±0,035** (0,16-0,17)***	- -
2.1.2.2.6 (6-рядный)	2HL	2024	0,30±0,077	-
2.1.1.3.1.4 (6-рядный)	2HL	2024	0,23±0,035	-
2.1.1.1.1.11 (6-рядный)*	2HL	2024	0,69±0,064	40,96±0,953**
2.1.12.1.5 (6-рядный)	2HL	2024	0,71±0,043	39,43±1,273
2.1.1.3.2.5 (6-рядный)	2HL	2024	1,62±0,119	34,61±1,469
2.1.12.1.2 (6-рядный)	2HL	2024	1,10±0,052	29,92±1,016
3.1.4 (6-рядный)	6HS	2022-2024	1,18±0,116 (0,96-1,52)	37,03±1,91 (32,94-44,54)**
3.2.6 (6-рядный)	6HS	2022-2024	1,01±0,075 (1,01-1,84)	42,07±2,029 (35,71-55,94)
3.2.2 (2-рядный)	6HS	2023; 2024	1,01±0,041 (0,99-1,10)	52,82±1,011 (50,60-54,92)
3.3.13 (2-рядный)	6HS	2022-2024	1,12±0,082 (0,96-1,33)	58,22±1,248 (50,71-66,03)
3.4.17 (2-рядный)	6HS	2023, 2024	0,86±0,041 (0,81; 0,93)	50,29±1,291 (47,35; 54,35)
<i>H. vulgare</i> ‘Roland’ (2-рядный)	-	2022-2024	1,08±0,036 (1,06-1,09)	51,22±1,573 (47,38-54,02)
<i>H. vulgare</i> ‘Borwina’ 2x (6-рядный)	-	2024	2,71±0,153	54,34±1,458

\* – рядность колоса / row count of the ear « и удалить точку с запятой на конце

\*\* – приведены средние значения и ошибка среднего / the mean values and the error of the mean are given

\*\*\* – варьирование средних значений в разные годы исследований / variation of average values in different years of research

У проанализированных девяти линий, полученных на основе тетраплоидного гибрида *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* ‘Borwina’ (4x) содержание белка в зерне различно, но для большинства этот показатель выше, чем у родительских сортов ячменя (табл. 6). Наибольшее содержание белка выявлено у линий 3.4.17 с тер-

минальной интрогрессией в хромосоме 6HS и у линии 2.1.1.1.11 с терминальной интрогрессией в хромосоме 2HL (см. табл. 6). Содержание сырой клетчатки в зерне всех ИЛ, как шестирядных, так и двурядных, соответствует сорту ‘Borwina’, но выше, чем у исходного сорта ‘Roland’ (см. табл. 6).

**Таблица 5. Показатели качества зерна интрогрессивных линий, полученных на основе триплоидного гибрида *Hordeum vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb)**

Пушкин, 2024

**Таблица 5. Grain quality characteristics of introgression lines developed using the triploid hybrid *Hordeum vulgare* ‘Roland’ (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb)**

Pushkin, 2024

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Белок, %/ Protein, %	Влажность, %/ Humidity, %	Сырая клетчатка, %/ Crude fiber, %
1.1.1	1HL	15,18±0,305	8,56±0,200	4,46±0,340
1.1.2	1HL	14,61±0,110	8,44±0,015	3,82±0,185
1.1.3	1HL	15,06±0,130	8,44±0,015	4,01±0,105
1.2.2	1HL	14,57±0,355	8,36±0,120	4,91±0,215
1.2.1	1HL	15,31±0,025	8,59±0,030	4,30±0,005
1.3.1	1HL+3HS	17,31±0,245	8,59±0,030	4,48±0,215
1.4.2.1	1HL+3HS	16,39±0,005	8,59±0,030	4,05±0,095
1.4.1.1	3HS	16,99±0,195	8,82±0,080	4,22±0,430
1.5.1.1	5HL	14,93±0,280	8,74±0,005	4,14±0,130
<i>H. vulgare</i> ‘Roland’	-	15,12±0,190	8,34±0,025	2,55±0,175

**Таблица 6. Показатели качества зерна интрогрессивных линий, полученных на основе тетраплоидного гибрида *Hordeum bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* ‘Borwina’ (4x) (HbHbHvHv)**

Пушкин, 2024

**Table 6. Grain quality characteristics of introgression lines developed using the tetraploid hybrid *Hordeum bulbosum* I:632321 (4x) × *H. vulgare* ‘Borwina’ (4x) (HbHbHvHv)**

Pushkin, 2024

ИЛ/ IL	Рекомбинантная хромосома/ Recombinant chromosome	Белок, %/ Protein, %	Влажность, %/ Humidity, %	Сырая клетчатка, %/ Crude fiber, %
<i>H. vulgare</i> ‘Roland’ (2-рядный)*	-	15,12±0,190	8,34±0,025	2,55±0,175
<i>H. vulgare</i> ‘Borwina’ 2x (6-рядный)*	-	14,95±0,130	7,83±0,155	5,67±0,490
3.1.4 (6-рядный)*	6HS	18,06±0,655	7,96±0,585	4,95±1,145
3.2.6 (6-рядный)*	6HS	14,05±0,110	8,27±0,160	5,22±0,775
3.2.2 (2-рядный)*	6HS	16,13±0,300	8,48±0,195	4,81±0,125
3.3.13 (2-рядный)*	6HS	18,37±0,430	8,28±0,355	6,40±1,500
3.4.17 (2-рядный)*	6HS	20,27±0,385	8,48±0,080	4,70±0,175
2.1.2.1.1.2 (6-рядный)*	2HL	17,13±0,045	8,63±0,160	4,61±0,085
2.1.1.1.11 (6-рядный)*	2HL	22,40±0,285	8,77±0,170	4,85±0,110

\* – рядность колоса / row count of the ear

Характеристика линий по содержанию белка и сырой клетчатки является предварительной, поскольку была проанализирована репродукция семян одного года.

Серии ИЛ культурного ячменя получены на основе межвидовых гибридов *Hordeum vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x) (HvHbHb) и *H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x) (HbHbHvHv). Все линии отобраны в потомстве трех растений ячменя BC<sub>1</sub> с терминальными интрогрессиями генетического материала ячменя луковичного. В процессе отбора ИЛ на основе триплоидного гибрида с интрогрессией в терминальном участке хромосомы 5HL не удалось создать линию с чужеродным фрагментом исходного размера: растения с соответствующей интрогрессией в обоих гомологах, летальны (Pendinen, 2021). Проблема создания высокофертильных линий возникла при работе с интрогрессивными формами с чужеродным фрагментом в хромосоме 2HL, полученными на основе тетраплоидного гибрида: растения с фрагментом *H. bulbosum* исходного размера в обоих гомологах практически полностью стерильны (Pendinen, 2021). В потомстве растений BC<sub>1</sub> были выявлены формы с терминальными чужеродными фрагментами в хромосомах 5HL и 2HL меньшего размера, чем исходные. Известно, что мейотическая гомеологичная рекомбинация у межвидовых гибридов *H. vulgare* с *H. bulbosum* обеспечивает интрогрессию генетического материала в хромосомы культурного ячменя (Zhang et al., 1999; Pickering et al., 2004; 2006; Scholz, Pendinen, 2017; Pendinen, Scholz, 2020). Вероятно, изменение размеров интрогрессии связано с мейотической рекомбинацией в интрогрессированном участке в мейозе растений BC<sub>1</sub>. Возможно, рекомбинационный процесс связан с наличием в участке с интрогрессией регионов с высокой рекомбинационной активностью – так называемых горячих точек рекомбинации (англ. recombination hotspots) (Künzel et al., 2000). Плечо 5HL *H. vulgare* характеризуется наибольшим количеством таких горячих точек.

Изучение созданных ИЛ в полевых условиях показало, что большинство из них – 18 линий с интрогрессиями в хромосомах 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 1HL+3HS, 6HS – представляют собой высокофертильные растения *H. vulgare*. Важной характеристикой линий является закрытое цветение и самоопыление, что дает возможность поддерживать и размножать линии в полевых условиях, сохраняя интрогрессии без изоляции колоса. Три линии: 2.1.2.2.2, 2.1.2.2.6 и 2.1.1.3.1.4 с размером интрогрессии в хромосоме 2HL, визуально близким к исходному, имеют низкую фертильность, они не представляют интереса для дальнейшего практического использования.

Содержание белка в зерне линий, полученных на основе триплоидного гибрида и имеющих в родословной только сорт культурного ячменя 'Roland' с рекомбинантными хромосомами 1HL и 5HL, соответствует этому показателю у исходного сорта. Таким образом, наличие интрогрессий ячменя луковичного в этих хромосомах у линий не влияет на содержание белка в их зерне. У трех

линий, имеющих терминальный фрагмент *H. bulbosum* в хромосоме 3HS, а именно у линии 1.4.1.1 с интрогрессией в хромосоме 3HS и у линий 1.3.1 и 1.4.2.1 с двумя интрогрессиями 1HL+3HS, выявлено более высокое содержание белка в зерне по сравнению с родительским сортом ячменя. Возможно, что это обусловлено наличием чужеродного фрагмента *H. bulbosum* W851 в терминальном участке хромосомы 3HS. Ранее, было выявлено повышение содержания белка у линии, созданной на основе сорта 'Igrı' с терминальной интрогрессией в хромосоме 2HS (Pendinen et al., 2018). Известно, что содержание белка в зерне ячменя имеет полигенный контроль, QTL локусы, влияющие на этот признак, выявлены на всех семи хромосомах, большинство в 2Н, 4Н, 5Н и 6Н (Emebiria et al., 2005; Cai et al., 2013). У большего числа ИЛ, полученных с использованием тетраплоидного гибрида с интрогрессиями в хромосомах 2HL и 6HS, содержание белка в зерне выше, чем у родительских сортов ячменя (см. табл. 6). Наибольшее значение этого показателя выявлено у ИЛ 3.4.17 с терминальной интрогрессией генетического материала *H. bulbosum* в хромосоме 6HS и у ИЛ 2.1.1.1.11 с терминальной интрогрессией в хромосоме 2HL. Причины повышенного содержания белка у этих линий неоднозначны, поскольку они созданы с участием двух различных сортов ячменя. Тем не менее, ИЛ 3.4.17 и ИЛ 2.1.1.1.11 представляют несомненный интерес, поскольку содержание белка в их зерне достигает 20% сухого веса.

## Заключение

С использованием межвидовых гибридов *Hordeum vulgare* 'Roland' × (*H. vulgare* 'Roland' (2x) × *H. bulbosum* W851 (4x)) (H<sup>v</sup>H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>), *H. vulgare* 'Roland' × (*H. bulbosum* И:632321 (4x) × *H. vulgare* 'Borwina' (4x)) (H<sup>b</sup>H<sup>b</sup>H<sup>v</sup>H<sup>v</sup>) созданы 21 ИЛ ярового ячменя с терминальными интрогрессиями генетического материала ячменя луковичного *H. bulbosum* в различных хромосомах: 1HL, 2HL, 3HS, 5HL, 6HS, 1HL+3HS. Для них характерно закрытое цветение и самоопыление, что обеспечивает сохранение чужеродных фрагментов хромосом в последующих поколениях. Восемнадцать линий представляют собой высокофертильные и продуктивные формы ячменя. Среди ИЛ с терминальной интрогрессией в длинном плече хромосомы 2HL выявлены формы с различной озерненностью колоса. Фертильность у этих форм связана с размером чужеродной интрогрессии: ИЛ 2.1.2.2.2, 2.1.2.2.6 и 2.1.1.3.1.4 с интрогрессией размером, визуально схожим с исходным, характеризуются низкой озерненностью колоса, менее 22%. Уменьшение размера терминальной интрогрессии приводит к восстановлению фертильности.

У ИЛ, несущих фрагмент генетического материала *H. bulbosum* в терминальном участке короткого плеча хромосомы 3Н, линия 1.4.1.1 с интрогрессией в хромосоме 3HS и линии 1.3.1 и 1.4.2.1 с двумя интрогрессиями – 1HL+3HS, выявлено более высокое содержание бел-

ка в зерне по сравнению с исходным сортом ячменя 'Roland'. Эти результаты являются предварительными, необходимы дополнительные исследования зерна полевых репродукций в разные годы.

## References/Литература

- Bothmer R., Seberg O., Jacobsen N. Genetic resources in the Triticeae. *Hereditas*. 1992;116:141-150. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1992.tb00814.x
- Bothmer R., Jacobsen N., Baden C., Jørgensen R.B., Linde-Laursen I. An ecogeographical study of genus *Hordeum*. Rome: IPGR; 1991.
- Cai S, Yu G., Chen X., Huang Y., Jiang X., Zhang G., Jin X. Grain protein content variation and its association analysis in barley. *BMC Plant Biology*. 2013;13:35. DOI: 10.1186/1471-2229-13-35
- Devaux P. The *Hordeum bulbosum* (L.) method. In: M. Maluszynski M., Kasha K.J., Forster B.P., Szarejko I. (eds). *Doubled haploid production in crop plants*. Dordrecht: Springer; 2003. p.15-19. DOI: 10.1007/978-94-017-1293-4\_3
- Emebiria L.C., Moodya D.B., Horsleyb R., Panozzo J., Read B.J. The genetic control of grain protein content variation in a doubled haploid population derived from a cross between Australian and North American two-rowed barley lines. *Journal of Cereal Science*. 2005;41:107-114. DOI: 10.1016/j.jcs.2004.08.012
- Fukuyama T., Hosoya H. Genetic control and mechanism of chromosome elimination in the hybrids between *Hordeum bulbosum* (4x) and *H. vulgare* (4x). *Japanese Journal of Genetics*. 1983;58:241-250. DOI: 10.1266/jjg.58.241
- Gavrilenko T.A.; Pendinen G.I.; Yermishin A.P. GISH analysis of the introgression of the B subgenome genetic material of wild allotetraploid species *Solanum stoloniferum* into backcrossing progenies with potato. *Agronomy*. 2022;12:787. DOI: 10.3390/agronomy12040787
- Gottlob-McHugh S., Levesque M., MacKenzie K., Olson M., Yarosh O., Johnson D. Organization of the 5S rRNA genes in the soybean *Glycine max* (L.) Merrill and conservation of the 5S rDNA repeat structure in higher plants. *Genome*. 1990;33:486-494. DOI: 10.1139/g90-072
- Ho K.M., Kasha K.J. Genetic control of chromosome elimination during haploid formation in barley. *Genetics*. 1975;51(2):263-275. DOI: 10.1093/genetics/81.2.263
- Ivaniz L., Farkas A., Linc G., Molnar-Lang M., Molnar I. Molecular cytogenetic and morphological characterization of two wheat-barley translocation lines. *PLoS ONE*. 2018;13(6):e0198758. DOI: 10.1371/journal.pone.0198758
- Johnston P.A., Pickering R.A. PCR detection of *Hordeum bulbosum* introgressions in an *H. vulgare* background using a retrotransposon-like sequence. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;104(4):720-726. DOI: 10.1007/s00122-001-0791-2
- Johnston P.A., Timmerman-Vaughan G.M., Farnden K.J.F., Pickering R.A. Marker development and characterisation of *Hordeum bulbosum* introgression lines: a resource for barley improvement. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;118:1429-1437. DOI: 10.1007/s00122-009-0992-7
- Jones I.T., Pickering R.A. The mildew resistance of *Hordeum bulbosum* and its transference into *H. vulgare* genotypes. *Annals of Applied Biology*. 1978;88:295-298. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1978.tb00709.x
- Kasha K.J., Kao K.N. High frequency haploid production in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Nature*. 1970;225(5235):874-876. DOI: 10.1038/225874a0
- Künzel G., Korzun L., Meister A. Cytologically integrated physical restriction fragment length polymorphism maps for the barley genome based on translocation breakpoints. *Genetics*. 2000;154:397-412. DOI: 10.1093/genetics/154.1.397.
- Lange W. Crosses between *Hordeum vulgare* L. and *Hordeum bulbosum* L. 1. Production, morphology and meiosis of hybrids, haploids and dihaploids. *Euphytica*. 1971a;20(1):14-29. DOI: 10.1007/BF00146769
- Lange W. Crosses between *Hordeum vulgare* L. and *Hordeum bulbosum* L. 2. Elimination of chromosomes in hybrid tissues. *Euphytica*. 1971b;20(2):181-194. DOI: 10.1007/BF00056078
- Michel M. Untersuchungen zur Übertragung von Resistenzgenen aus der Wildart *Hordeum bulbosum* L. in die Kulturgerste *Hordeum vulgare* L. PhD Thesis, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, [dissertation]. München: Technische Universität München; 1996. [in German]
- Molnar-Lang M., Linc G. Wheat-barley hybrids and introgression lines. In: M. Molnár-Láng, C. Ceoloni, J. Doležel (eds). *Alien Introgression in Wheat: Cytogenetics, Molecular Biology, and Genomics*. Springer International Publishing; 2015. p.315-345. DOI: 10.1007/978-3-319-23494-6
- Nagy E.D., Molnár-Láng M., Linc G., Láng L. Identification of wheat-barley translocations by sequential GISH and two-colour FISH in combination with the use of genetically mapped barley SSR markers. *Genome*. 2002;45(6):1238-1247. DOI: 10.1139/g02-068
- Pendinen G.I. New introgressive forms of cultivated barley obtained on the basis of interspecific hybrids *Hordeum vulgare* L. × *Hordeum bulbosum* L. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):25-39. [in Russian] (Пендинен Г.И. Новые интрогрессивные формы культурного ячменя, полученные на основе межвидовых гибридов *Hordeum vulgare* L. × *Hordeum bulbosum* L. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):25-39). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-02
- Pendinen G.I., Chernov V.E., Scholz M. Biological characterization of introgressive barley lines obtained on the basis of the interspecific hybrid *Hordeum vulgare* L. × *H. bulbosum* L. (HvHbHb). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2018;1(1):16-24. [in Russian] (Пендинен Г.И., Чернов В.Е., Шольц М. Характеристика интрогрессивных линий ячменя, полученных на основе межвидового гибрида *Hordeum vulgare* L. × *H. bulbosum* L. *Биотехнология и селекция растений*. 2018;1(1):16-24). DOI: 10.30901/2658-6266-2018-1-16-24
- Pendinen G.I., Chernov V.E., Scholz M. Possibilities of using the tetraploid interspecific hybrid *Hordeum bulbosum* L. × *Hordeum vulgare* L. in obtaining new recombinant barley lines. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(1):6-20. [in Russian] (Пендинен Г.И., Чернов В.Е., Шольц М. Возможности использования тетраплоидного межвидового гибрида *Hordeum bulbosum* L. × *Hordeum vulgare* L. в получении новых рекомбинантных линий ячменя. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(1):6-20). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-1-02
- Pendinen G.I., Scholz M. Homoeologous chromosome pairing at metaphase I of meiosis in *Hordeum vulgare* L. × *H. bulbosum* L. triploid hybrids (HvHbHb). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2020;3(2):6-15. [in Russian] (Пендинен Г.И., Шольц М. Спаривание гомеологичных хромосом в метафазе I мейоза у триплоидных гибридов *Hordeum vulgare* L. × *H. bulbosum* L. (HvHbHb). *Биотехнология и селекция растений*. 2020;3(2):6-15). DOI: 10.30901/2658-6266-2020-2-02
- Pickering R.A. The production of fertile triploid hybrids between *Hordeum vulgare* L. (2n=2x=14) and *H. bulbosum* L. (2n=4x=28). *Barley Genetics Newsletter*. 1988;18:25-29.
- Pickering R.A. The production of fertile triploid hybrids from crosses between *Hordeum vulgare* L. (2n=4x=28) and *H. bulbosum* L. (2n=2x=14). *Hereditas*. 1991;114(3):227-236. DOI: 10.1111/j.1601-5223.1991.tb00329.x
- Pickering R.A., Hudakova S., Houben A., Jounhson P., Butler R.C. Reduced metaphase I associations between the short arms of homoeologous chromosomes in a *Hordeum vulgare* L. × *H. bulbosum* L. diploid hybrid influences the frequency of recombinant progeny. *Theoretical and Applied Genetics*. 2004;109:911-916. DOI: 10.1007/s00122-004-1725-6
- Pickering R.A., Klatte S., Butler R.C. Identification of all chromosome arms and their involvement in meiotic homoeologous associations at metaphase I in 2 *Hordeum vulgare* L. × *Hordeum bulbosum* L. hybrids. *Genome*. 2006;49:73-78. DOI: 10.1139/G05-071
- Pickering R.A., Timmerman G.M., Cromey M.G., Melz G. Characterization of progeny from backcrosses of triploid hybrids between *Hordeum vulgare* L. (2x) and *H. bulbosum* L. (4x) to *H. vulgare*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1994;88:460-464. DOI: 10.1007/BF00223661
- Pidon H., Wendler N., Habekuß A., Maasberg A., Ruge-Wehling B., Perovic D., Ordon F., Stein N. High-resolution mapping of *Rym14<sup>th</sup>*, a wild relative resistance gene to barley yellow mosaic

- disease. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(3):823-833. DOI: 10.1007/s00122-020-03733-7
- Ruge B., Linz A., Pickering R., Proeseler G., Greif P., Wehling P. Mapping of *Rym14Hb*, a gene introgressed from *Hordeum bulbosum* and conferring resistance to BaMMV and BaYMV in barley. *Theoretical and Applied Genetics*. 2003;107(6):965-971. DOI: 10.1007/s00122-003-1339-4
- Ruge-Wehling B., Linz A., Habekuß A., Wehling P. Mapping of *Rym16Hb*, the second soil-born virus-resistance gene introgressed from *Hordeum bulbosum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2006;113(5):867-873. DOI: 10.1007/s00122-006-0345-8
- Scholz M., Pendinen G. The effect of homoeologous meiotic pairing in tetraploid *Hordeum bulbosum* L. × *H. vulgare* L. hybrids on alien introgressions in offspring. *Cytogenetic and Genome Research*. 2017;150(2):139-149. DOI: 10.1159/000455141
- Scholz M., Ruge-Wehling B., Habekuß A., Schrader O., Pendinen G., Fischer K., Wehling P. *Ryd4Hb*: a novel resistance gene introgressed from *Hordeum bulbosum* into barley and conferring complete and dominant resistance to the barley yellow dwarf virus. *Theoretical and Applied Genetics*. 2009;119:837-849. DOI: 10.1007/s00122-009-1093-3
- Szigat G., Pohler W. *Hordeum bulbosum* × *H. vulgare* hybrids and their backcrosses with cultivated barley. *Cereal Research Communications*. 1982;10(1/2):73-78.
- Thomas M.R., Pickering R.A. Chromosome elimination in *Hordeum vulgare* × *H. bulbosum* hybrids I. Comparison of stable and unstable amphidiploid. *Theoretical and Applied Genetics*. 1983;66:135-140. DOI: 10.1007/BF00265188
- Toubia-Rahme H., Johnston P.A., Pickering R.A., Steffenson B.J. Inheritance and chromosomal location of *Septoria passerinii* resistance introgressed from *Hordeum bulbosum* into *Hordeum vulgare*. *Plant Breeding*. 2003;122:405-409. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2003.00850.x
- Wang S.L., Qi L.L., Chen P.D., Liu D.J., Friebe B., Gill B.S. Molecular cytogenetic identification of wheat-*Elymus tsukushiense* introgression lines. *Euphytica*. 1999;107:217-224. DOI: 10.1023/A:1003686014905
- Wendler N., Mascher M., Himmelbach A., Bini F., Kumlehn J., Stein N. A high-density, sequence-enriched genetic map of *Hordeum bulbosum* and its collinearity to *H. vulgare*. *The Plant Genome*. 2017;10(3):1-11. DOI: 10.3835/plantgenome2017.06.0049
- Yakura K., Tanifuji S. Molecular cloning and restriction analysis of *Eco* RI-fragments of *Vicia faba* rDNA. *Plant and Cell Physiology*. 1983;24:1327-1330. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076650
- Yu X., Casonato S., Jone E., Butler R.C., Johnston P.A., Chng S. Phenotypic characterization of the *Hordeum bulbosum* derived leaf rust resistance genes *Rph22* and *Rph26* in barley. *Journal of Applied Microbiology*. 2022;133(3):2083-2094. DOI: 10.1111/jam.15710
- Yu X., Kong H.Y., Meiyalaghan V., Casonato S., Chng S., Jones E.E., Butler R.C., Pickering R., Johnston P.A. Genetic mapping of a barley leaf rust resistance gene *Rph26* introgressed from *Hordeum bulbosum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2018;131(6):2567-2580. DOI: 10.1007/s00122-018-3173-8
- Zhang L., Pickering R., Murray B.G. Direct measurement of recombination frequency in interspecific hybrids between *Hordeum vulgare* and *H. bulbosum*, using genomic *in situ* hybridization. *Heredity*. 1999;83(3):304-309. DOI: 10.1046/j.1365-2540.1999.00571.x
- Zhang L., Pickering R., Murray B.G. *Hordeum vulgare* × *H. bulbosum* tetraploid hybrid provides useful agronomic introgression lines for breeders. *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*. 2001;29(4):239-246. DOI: 10.1080/01140671.2001.9514185

### Информация об авторах

**Галина Ивановна Пендинен**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел биотехнологии, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, pendinen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2814-7074>

**Владимир Евгеньевич Чернов**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел Светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем, Агрофизический научно-исследовательский институт, 195220 Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14; Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 194175 Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6 лит. Ж, vechernov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2440-3782>

**Константин Анатольевич Жаринов**, кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (ТУ), 190013 Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 24-26/49 литера А; ГК Люмэкс, 195220 Россия, Санкт-Петербург, ул. Обручевых, 1, литер «Б», zharinovka@lumex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1388-4072>

### Information about the authors

**Galina I. Pendinen**, Cand. Sci (Biology), Senior Researcher, Department of Biotechnology, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, pendinen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2814-7074>

**Vladimir E. Chernov**, Cand. Sci (Biology), Senior Researcher, Department of Plant Light Physiology and Agroecosystem Bioproductivity, Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy Avenue, St. Petersburg, 195220 Russia; S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Lit. Zh, Academician Lebedev Street, St. Petersburg, 194175 Russia, vechernov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2440-3782>

**Konstantin A. Zharinov**, Cand. Sci (Engineering), Associate Professor, St. Petersburg State Institute of Technology, 24-26/49 A, Moskovsky Avenue, St. Petersburg, 190013 Russia; GC Lumex, 1 Liter "B", Obruchevykh Street, St. Petersburg, 195220 Russia, zharinovka@lumex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1388-4072>

**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 conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 24.10.2025; одобрена после рецензирования 22.12.2025; принята к публикации 25.12.2025.

The article was submitted on 24.10.2025; approved after reviewing on 22.12.2025; accepted for publication on 25.12.2025.

Научная статья

УДК 633.11:631.52

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-07



## Сравнительное исследование влияния температурного воздействия на биохимический и минеральный состав зерна почти-изогенных линий пшеницы, различающихся по антоциановой пигментации

А. В. Сумина<sup>1</sup>, В. И. Полонский<sup>2</sup>, Е. И. Гордеева<sup>3</sup>, К. А. Молобекова<sup>3</sup>, О. Ю. Шоева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

<sup>2</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЦиГ СО РАН), Новосибирск, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Олеся Юрьевна Шоева, olesya\_ter@bionet.nsc.ru

**Актуальность.** Мягкая пшеница *Triticum aestivum* L., накапливающая антоциановые соединения в зерне, является ценным сырьем для создания функциональных продуктов питания. В процессе их производства применяются различные технологические операции, среди которых ключевую роль играют термические методы, такие как обжарка. Как известно, при этом формируются характерные вкусоароматические и текстурные характеристики конечного продукта, а также повышается биодоступность питательных веществ. Однако исследования влияния термической обработки на биохимический и минеральный состав богатого антоцианами зерна до настоящего момента не проводилось. Целью настоящего исследования является анализ влияния термообработки пигментированного зерна пшеницы на содержание в нем органических и минеральных компонентов при производстве хакасского национального продукта талгана, изготавливаемого из обжаренного и перемолотого зерна. **Материалы и методы.** В работе использовали почти-изогенные линии пшеницы iP и iP7D, отличающиеся наличием антоцианов в зерне. В пробах талгана, взятых с различных технологических этапов (цельное зерно, обжаренное зерно, готовый продукт) проводили оценку содержания общей влаги, клетчатки, белка, кальция, фосфора, сахара и сырой золы согласно ГОСТ. Содержание антоцианов в зерне изучаемых образцов пшеницы до и после термической обработки и измельчения проводили с помощью спектрофотометрии. **Результаты и обсуждение.** Было показано, что окрашенная антоцианами линия iP статистически превосходит неокрашенную iP7D по содержанию в зерне антоцианов, общей влаги, клетчатки и фосфора, тогда как по уровню белка, кальция и сырой золы различий между линиями выявлено не было. При производстве талгана, включающего термическую обработку без и с измельчением зерна, у обеих линий большинство исследуемых параметров зерна либо сохранялись на исходном уровне, либо повышались по сравнению с необработанным зерном. Исключениями стало снижение после обработки содержания кальция в зерне линии iP7D, и антоцианов в зерне линии iP. Зерно неокрашенной линии характеризовалось большей чувствительностью к технологическим этапам обработки, под воздействием которых наблюдалось увеличение всех проанализированных показателей, кроме содержания общей влаги. У окрашенной линии обработка повлияла на повышение содержания только клетчатки и сахара. **Заключение.** Выявленные особенности важно учитывать для разработки продуктов на основе зерна пшеницы, содержащего антоцианы, где баланс между вкусом, текстурой и сохранением биоактивных компонентов играет ключевую роль.

**Ключевые слова:** функциональный продукт, антоцианы, зерно, тепловое воздействие, белок, кальций, фосфор, клетчатка

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда в рамках проекта № 25-16-20101 и Министерства науки и инновационной политики Новосибирской области в рамках проекта № 30-2025-000848

**Для цитирования:** Сумина А.В., Полонский В.И., Гордеева Е.И., Молобекова К.А., Шоева О.Ю. Сравнительное исследование влияния температурного воздействия на биохимический и минеральный состав зерна почти-изогенных линий пшеницы, различающихся по антоциановой пигментации. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):46-54. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-07

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.

© Сумина А.В., Полонский В.И., Гордеева Е.И., Молобекова К.А., Шоева О.Ю., 2025

## Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o7

## A comparative study of the influence of temperature on the biochemical and mineral composition of grain of near-isogenic wheat lines differing in anthocyanin pigmentation

Alena V. Sumina<sup>1</sup>, Vadim I. Polonskiy<sup>2</sup>, Elena I. Gordeeva<sup>3</sup>, Camilla A. Molobekova<sup>3</sup>, Olesya Y. Shoeva<sup>3</sup><sup>1</sup> N.F. Katanov Khakass State University, Abakan, Russia<sup>2</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia<sup>3</sup> Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICG SB RAS), Novosibirsk, Russia**Corresponding author:** Olesya Y. Shoeva, olesya\_ter@bionet.nsc.ru

**Background.** Common wheat *Triticum aestivum* L., which grain accumulates anthocyanin compounds with broad biological activity, is a valuable raw material for the production of functional foods. Various technological processes are used in the production of such foods, among which thermal methods such as roasting play a key role. These methods are known to shape the characteristic flavor, aroma, and textural characteristics of the final product, and also increase the bioavailability of nutrients. However, the effect of heat treatment on the biochemical and mineral composition of anthocyanin-rich grain has not yet been studied. The aim of this research was to analyze the effect of heat treatment of pigmented wheat grain on its organic and mineral content during the production of talgan, a Khakass national product made from roasted and milled grain. **Materials and methods.** The research employed near-isogenic iP and iP7D wheat lines differing in the presence of anthocyanins in the grain. Talgan samples taken from various processing stages (original grain, roasted grain, and finished product) were assessed for total moisture, fiber, protein, calcium, phosphorus, sugar, and crude ash content according to GOST standards. Anthocyanin content in the grain of the studied wheat accessions before and after heat treatment and milling was determined using spectrophotometry. **Results and discussion.** The grain of the colored iP line was statistically shown to be superior to that of the uncolored iP7D line in anthocyanin content, total moisture, fiber, phosphorus, and crude ash, while protein, calcium, and crude ash contents did not differ between the lines. During the production of talgan, which includes heat treatment of the whole and ground grain, most of the studied grain parameters either remained at the initial level, or increased compared to the untreated grain. The exceptions were a decrease in the calcium content in the grain of the iP7D line and of anthocyanin in the grain of the iP line after treatment. Grain of the uncolored line was more sensitive to technological processing stages, under the influence of which an increase in all the analyzed parameters was recorded, with the exception for the total moisture content, which remained unchanged compared to the original grain. In the colored line, however, the treatment caused only an increase in fiber and sugar content. **Conclusions.** The revealed features are important to consider when developing products based on wheat grain containing anthocyanins, where the balance between taste, texture and the preservation of bioactive components plays a key role.

**Keywords:** functional product, anthocyanins, grain, heat effect, protein, calcium, phosphorus, fiber

**Acknowledgements:** The work was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation under Project No. 25-16-20101 and the Ministry of Science and Innovation Policy of the Novosibirsk Region under Project No. 30-2025-000848

**For citation:** Sumina A.V., Polonskiy V.I., Gordeeva E.I., Molobekova C.A., Shoeva O.Y. A comparative study of the influence of temperature on the biochemical and mineral composition of grain of near-isogenic wheat lines differing in anthocyanin pigmentation. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):46-54. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o7

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.

© Sumina A.V., Polonskiy V.I., Gordeeva E.I., Molobekova C.A., Shoeva O.Y., 2025

## Введение

В рамках реализации государственных инициатив, направленных на укрепление общественного здоровья, разработка функциональных пищевых продуктов, оказывающих положительное воздействие на организм, становится приоритетом во многих странах (Loskutov, Khlestkina, 2021). Особое значение в этом контексте приобретают изделия, созданные на основе широко потребляемых злаков, таких как мягкая пшеница. Важнейшими характеристиками данной культуры является ее питательная и функциональная ценность. В зерновках пшеницы могут накапливаться антоциановые соединения, придавая им синюю, фиолетовую или черную окраску (Gordeeva et al., 2022). Данные соединения обладают антиоксидантной активностью, а также выступают в роли медиаторов сигнальных каскадов, индуцированных воздействием активных форм кислорода, способствуя профилактике сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, а также метаболических нарушений и болезни Альцгеймера (Li et al., 2017). Благодаря уникальным характеристикам, пигментированное зерно рассматривается как перспективный компонент для создания обогащенных функциональных продуктов с повышенной питательной ценностью (Francavilla, Joye, 2020; Garg et al., 2022).

Производство зерновых продуктов питания неизбежно связано с применением технологических операций, среди которых ключевую роль играют термические методы, такие как обжарка. В ходе тепловой обработки в зерне запускается комплекс физико-химических процессов: желатинизация крахмала, денатурация белковых структур, взаимодействие макронутриентов между собой, а также реакции потемнения Майяра (Li et al., 2023). Эти преобразования не только формируют характерные вкусоароматические и текстурные характеристики конечного продукта, но и повышают биодоступность питательных веществ. Например, термическая обработка может разрушать антипитательные соединения, высвобождая витамины и минералы, а также улучшать усвояемость белков за счет изменения их пространственной структуры (Samtiya et al., 2020). Таким образом, технологические процессы не только обеспечивают безопасность продукта, но и оптимизируют его функциональные и питательные свойства, делая их более доступными для организма. В связи с этим особой ценностью для питания обладает продукт хакасской национальной кухни – талган (талкан). Это дисперсный продукт из обжаренных зерен, занимающий промежуточное положение между мукой и крупкой. В традиционной кухне народов Азии он используется для приготовления питательных напитков путем размешивания его в воде, кисломолочных продуктах или чае, а также в качестве основы для каш, добавки в супы и мясные фарши, что определяет его высокую пищевую и культурную ценность (Sumina et al., 2019). Для изготовления талгана, как правило используют зерно пшеницы, ячменя или овса. Однако богатое антоцианами зерно указанных

культур для производства талгана ранее не использовалось и исследований влияния термообработки на биохимический и минеральный состав готового продукта не проводилось.

В представленной работе для изучения влияния термообработки пигментированного зерна пшеницы при изготовлении талгана на содержание в нем органических и минеральных компонентов в качестве точной генетической модели были использованы почти-изогенные линии, отличающиеся наличием рекомбинантного фрагмента в хромосоме 2A, несущего ген *Pp3*, контролирующей синтез антоциановых пигментов в перикарпе зерна (Gordeeva et al., 2015). Использование этих линий позволит связать отличия в биохимическом и минеральном составе между окрашенным и неокрашенным зерном с известными различиями в геноме, что в конечном итоге позволит направленно создавать сырье для производства целевого продукта с заданными свойствами.

## Материалы и методы

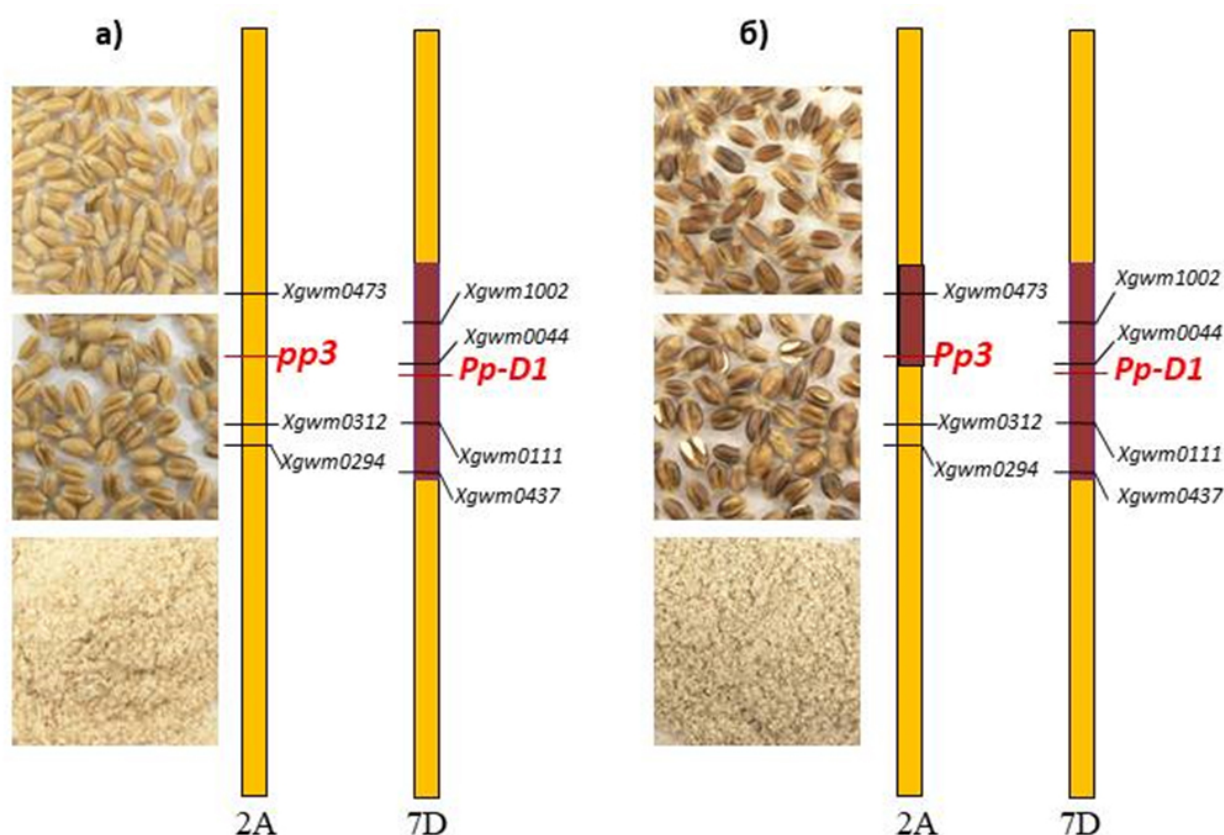
**Растительный материал.** В работе были использованы почти-изогенные линии пшеницы *i:S29Pp-AIPp-DIpp3<sup>h</sup>* (сокращённо *iP7D*) и *i:S29Pp-AIPp-DIPp3<sup>h</sup>* (*iP*), созданные на основе краснозерного сорта ‘Саратовская 29’ и различающиеся по окраске зерновок (рисунок). Линия *iP7D* имеет неокрашенное зерно, тогда как линия *iP* отличается фиолетовой окраской, обусловленной накоплением антоциановых пигментов в перикарпе (Gordeeva et al., 2015). Зерно было собрано с растений, выращенных на экспериментальном участке селекционно-генетического комплекса Института цитологии и генетики СО РАН в 2018 году. До проведения исследования зерно хранилось в прохладном зернохранилище комплекса.

**Обработка зерна.** Зерно подвергали обработке по технологии получения хакасского национального зернового продукта талгана (Sumina et al., 2019). Для его изготовления предварительно очищенное от посторонних примесей зерно массой 100 граммов термически обрабатывали, обжаривали на протяжении 10 минут при 150°C; далее охлаждали и измельчали до размера частиц 0,25-0,70 мм.

**Содержание органических и минеральных компонентов в зерне.** Исследование содержания органических и минеральных компонентов в зерне изучаемых линий проведены на базе лабораторий ФГБУ «Росагрохимслужба» и Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова (г. Абакан). Пробы талгана для исследования были отобраны на различных технологических этапах: цельное зерно (без термической обработки и измельчения), обжаренное зерно (после термической обработки, но не измельченное) и готовый продукт (термически обработанное и измельченное зерно, талган). Для лабораторного анализа помол выполняли до получения гомогенной, репрезентативной пробы для точного количественного определения содержания таких химических соединений, как белок, углеводы, сырая зола, клет-

чатка, кальций, фосфор и антоцианы. Частицы измельчали до размера 0,20-0,40 мм, при этом все компоненты

зерна: эндосперм, зародыш, отруби – были равномерно распределены в пробе.



**Рисунок. Схематическое изображение хромосом 2А и 7D почти-изогенных линий пшеницы iP7D (а) и iP (б), используемых в работе, и зерно этих линий: цельное (сверху), обжаренное (в центре) и термически обработанное и измельченное (снизу)**

Бордовым цветом обозначены рекомбинантные участки, привнесенные в геном родительского сорта ‘Саратовская 29’ от сорта ‘Purple’, несущего доминантные аллели генов *Pp-D1* и *Pp3*, контролирующих синтез антоцианов в перикарпе. Положение рекомбинантных участков относительно ДНК-маркеров отмечено согласно Gordeeva et al., 2015

**Figure. Schematic representation of chromosomes 2A and 7D of near-isogenic wheat lines iP7D (a) and iP (b) used in the study, and grain of these lines: whole (top), roasted (center), and heat-treated and ground (bottom)**

Recombinant regions introduced into the genome of the parental cv. ‘Saratovskaya 29’ from cv. ‘Purple’ carrying dominant alleles of the *Pp-D1* and *Pp3* genes, which control anthocyanin synthesis in the pericarp, are marked in burgundy. The recombinant regions position relative to DNA markers is indicated according to Gordeeva et al., 2015

После проведения технологических операций образцы были приведены к равновесной влажности. Общая влага зерна была определена с помощью методики, заключающейся в высушивании навески при температуре  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  до постоянной массы в соответствии с ГОСТ 31640-2012 (State Standard, 2020a).

Содержание клетчатки определяли посредством гидролиза образца зерна серной кислотой и щелочью с последующим прокаливанием остатка в соответствии с ГОСТ 31675-2012 (State Standard, 2020b). Содержание сырого протеина (белков) оценивали через определение

азота методом Кьельдаля (Zolotov, 2004) с последующим пересчетом на белок в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019 (State Standard, 2019a). Содержание кальция было определено в соответствии с ГОСТ 32904-2014 (State Standard, 2020c), фосфора – ГОСТ 26657-97 (State Standard, 2015a), сахара – ГОСТ 26176-2019 (State Standard, 2019b), сырой золы – ГОСТ 26226-95 (State Standard, 2015b). Каждый метод был стандартизован для обеспечения точности и воспроизводимости результатов. Для каждого образца пшеницы измерения всех параметров были проведены в четырех повторностях в аккредитованной испытатель-

ной лаборатории с использованием стандартизованных методик, что гарантирует воспроизводимость и надежность полученных количественных данных. Содержание антоцианов в зерне до и после термической обработки и измельчения проводили с помощью спектрофотометрии, согласно ранее описанной методике (Gordeeva et al., 2022). Для каждого образца измерение содержания антоцианов было выполнено в трехкратной повторности.

Статистический анализ полученных измерений проводили в программе Statistica v. 6.1 (StatSoft, Inc., Талса, Оклахома, США). Оценку статистической существенности различий между средними значениями выполняли

с помощью медианного теста. При  $p < 0,05$  различия считали статистически значимыми.

## Результаты

**Биохимический и минеральный состав зерна.** Биохимический и минеральный состав зерна неокрашенной iP7D и окрашенной iP линий пшеницы, а также влияние технологических этапов (термической обработки и измельчения) на эти показатели, представлены в Таблице.

**Таблица. Влияние технологических этапов (обжаривание; обжаривание и измельчение) на биохимический и минеральный состав неокрашенного и окрашенного зерна пшеницы**

**Table. The influence of technological stages (roasting; roasting and grinding) on the biochemical and mineral composition of uncolored and colored wheat grain**

Параметр, размерность/ Parameter, dimension	iP7D	iP7D обжаривание/ roasting	iP7D обжаривание + измельчение/ roasting + grinding	iP	iP обжаривание/ roasting	iP обжаривание + измельчение/ roasting + grinding
Антоцианы, мг/кг	4,47±2,13 <sup>a*</sup>	-	5,79±1,68 <sup>a\$</sup>	58,62±1,05 <sup>A*</sup>	-	51,07±2,00 <sup>B\$</sup>
Общая влага, %	8,43±0,23 <sup>a*</sup>	8,45±0,37 <sup>a#</sup>	8,29±0,11 <sup>a</sup>	8,95±0,10 <sup>A*</sup>	8,86±0,10 <sup>A#</sup>	8,65±0,38 <sup>A</sup>
Клетчатка, г/кг	42,40±0,99 <sup>a*</sup>	48,90±0,92 <sup>b#</sup>	44,28±0,76 <sup>a\$</sup>	50,20±1,21 <sup>A*</sup>	52,00±1,46 <sup>A#</sup>	56,40±0,73 <sup>B\$</sup>
Белок, %	14,38±0,73 <sup>a</sup>	15,19±1,13 <sup>ab</sup>	16,38±0,52 <sup>b</sup>	15,67±1,10 <sup>A</sup>	15,88±0,97 <sup>A</sup>	16,06±0,53 <sup>A</sup>
Кальций, г/кг	1,10±0,08 <sup>a</sup>	0,60±0,21 <sup>b</sup>	0,60±0,28 <sup>b</sup>	1,00±0,35 <sup>A</sup>	0,70±0,21 <sup>A</sup>	0,70±0,18 <sup>A</sup>
Фосфор, г/кг	4,20±0,24 <sup>a*</sup>	4,70±0,15 <sup>a</sup>	4,90±0,11 <sup>b</sup>	4,80±0,13 <sup>A*</sup>	4,90±0,26 <sup>A</sup>	5,10±0,29 <sup>A</sup>
Сахар, г/кг	18,10±0,76 <sup>a*</sup>	26,30±0,47 <sup>b#</sup>	28,10±0,71 <sup>c\$</sup>	23,20±0,81 <sup>A*</sup>	25,20±0,41 <sup>B#</sup>	37,80±0,49 <sup>C\$</sup>
Сырая зола, г/кг	26,20±0,17 <sup>a</sup>	31,50±0,69 <sup>b#</sup>	24,70±0,63 <sup>c\$</sup>	26,30±0,44 <sup>A</sup>	26,20±0,52 <sup>A#</sup>	26,10±0,43 <sup>A\$</sup>

**Примечание:** одинаковыми буквенными индексами отмечены статистически не отличающиеся значения параметров в зерне до и после обработки, для линии iP7D используются строчные индексы, для линии iP – заглавные; достоверные отличия значений параметров между линиями iP и iP7D в исходном зерне отмечены знаком \*, в обжаренном цельном зерне – знаком # и в обжаренном измельченном зерне – знаком \$ ( $p < 0,05$ , медианный тест)/ **Note:** the same letter indices indicate statistically indistinguishable parameter values for the grain before and after treatments, lowercase indices are used for the iP7D line, uppercase ones are used for the iP line; reliable differences in parameter values between the iP and iP7D lines in the original grain are marked with the sign \*, in the roasted whole grain – with the sign #, and in the roasted ground grain – with the sign \$ ( $p < 0.05$ , median test).

Зерно линии iP по сравнению с iP7D характеризуется большим содержанием антоцианов (58,62 мг/кг и 4,47 мг/кг), общей влаги (8,95% и 8,43%), клетчатки (50,20 г/кг и 42,40 г/кг), фосфора (4,80 г/кг и 4,20 г/кг) и сахара (23,20 г/кг и 18,10 г/кг). Содержание белка (15,67% и 14,38%), кальция (1,00 г/кг и 1,10 г/кг) и сырой золы (26,30 г/кг и 26,20 г/кг) между исследуемыми линиями не отличается.

По другим параметрам линии продемонстрировали чувствительность к одному или обоим этапам технологической обработки, при этом реакция линий по некоторым из изучаемых параметров различалась. Так, содержание антоцианов в зерне линии iP7D не отличалось после обжарки и измельчения, тогда как у линии iP данный показатель снижался на 13% с 58,62 мг/кг до 51,07 мг/кг. Содержание клетчатки в зерне линии iP7D после обжарки

увеличилось на 15% с 42,40 г/кг до 48,90 г/кг, а при последующем измельчении – снизилось до 44,28 г/кг, достигнув уровня содержания клетчатки в исходном образце. Для линии iP наблюдалась другая тенденция: при обжарке содержание клетчатки в зерне не изменялось, тогда как при последующем измельчении этот показатель увеличился на 12% с 50,20 г/кг до 56,40 г/кг.

Содержание белка в зерне линии iP7D под действием термообработки и измельчения увеличилось на 14% с 14,38% до 16,38%, при этом не было выявлено достоверного отличия от содержания белка в конечном продукте, изготовленном из зерна линии iP. У линии iP этот показатель оставался неизменным после каждого этапа технологической обработки, варьируя в пределах 15,67%-16,06%.

Содержание кальция в зерне линии iP7D достоверно снизилось на 45% с 1,1 г/кг до 0,6 г/кг после обра-

ботки зерна, оставаясь на уровне показателя линии iP, у которой данный показатель сохранился неизменным после всех технологических этапов, варьируя в пределах 0,7 г/кг-1,0 г/кг.

Содержание фосфора у линии iP7D после обработки повысилось на 17% с 4,2 г/кг до 4,9 г/кг, при этом оно достоверно не отличалось от содержания фосфора в конечном продукте линии iP, у которой данный показатель остался неизменным после всех технологических этапов, варьируя в пределах 4,8 г/кг-5,1 г/кг.

Содержание сахара увеличилось в зерне у обеих линий в обжаренном цельном и измельченном зерне. У линии iP7D этот показатель повысился на 55% с 18,10 г/кг до 28,10 г/кг, тогда как у iP – на 63% с 23,20 г/кг до 37,80 г/кг.

Содержание сырой золы, что является показателем минерализации, у линии iP7D повысилось после обжарки на 20% с 26,20 г/кг до 31,50 г/кг, но снизилось в последующем до 24,70 г/кг. Это достоверно ниже показателя, установленного в случае окрашенной линии iP, для которой он остался неизменным после всех этапов технологической обработки, варьируя в пределах 26,10 г/кг-26,30 г/кг.

## Обсуждение

В пищевой промышленности термическая обработка зерна используется для улучшения и изменения качества продуктов питания, продления срока их хранения и повышения эффективности последующей обработки. Способ термообработки, температура и время воздействия оказывают существенное влияние на биохимический и минеральный состав подвергнутого воздействию зерна (Li et al., 2023). Кроме этого, эффект зависит от исходного биохимического состава зерна, который может значительно различаться у разных сортов (Raigar, Mishra, 2018; Dongmo et al., 2020). В представленном исследовании термическому воздействию подверглось зерно двух почти-изогенных линий. Несмотря на небольшие генетические различия между ними (см. рисунок), изучаемые линии отличались друг от друга не только по наличию и отсутствию антоциановой пигментации, но и по содержанию общей влаги, клетчатки, сахара и фосфора, с преобладанием данных показателей у окрашенной линии (см. таблица). Наблюдаемые различия между линиями могут быть обусловлены наличием в рекомбинантных районах, по которым изучаемые линии отличаются, генов, контролирующих синтез и метаболизм сахаров (Wasserman et al., 2025), а также локусов количественных признаков, ассоциированных с содержанием фитиновой кислоты, в состав которой входит фосфор (Wen et al., 2022).

В результате термической обработки у обеих линий было зафиксировано изменение биохимического и минерального состава зерна, не связанное с концентрированием веществ вследствие потери влаги при термообработке,

поскольку после проведения технологических операций все образцы были приведены к равновесной влажности.

У окрашенной линии iP в результате термообработки и измельчения зерна снизилось содержания антоцианов на 13%, тогда как в зерне линии iP7D содержание антоцианов, выявленных в незначительном количестве, не изменилось. Отличия в степени деградации антоцианов между линиями могут быть обусловлены различиями в их стабильности, которая, как было показано, повышается с помощью гликозилирования и ацилирования, а также в присутствии углеводов, белков и некрахмальных полисахаридов, таких как гемицеллюлоза,  $\beta$ -глюканы (Chen et al., 2023; Tobolka et al., 2024).

Обе линии продемонстрировали увеличение содержания клетчатки, которое произошло у линии iP7D на этапе обжаривания, а у линии iP – на этапе измельчения обжаренного зерна. Увеличение содержания растворимых и уменьшение содержания нерастворимых пищевых волокон при обжаривании было описано также для риса, сорго, овса, киноа, но не для ячменя (Medina Martinez et al., 2020; Miraji et al., 2021; Torbica et al., 2021). Предположительно, на начальном этапе обжарки остаточные молекулы воды накапливаются внутри клеточных стенок. Как только давление пара превышает предел прочности клеточных стенок, происходит их разрушение, что увеличивает доступность растворимых пищевых волокон для экстракции (Li et al., 2023). Можно предположить, что клеточные стенки линии iP прочнее, поэтому изменения в содержании клетчатки у неё происходят не на этапе обжаривания, а только после механического разрушения зерна. Кроме клетчатки, в зерне обеих линий при обжаривании наблюдалось увеличение содержания сахаров, что может быть обусловлено деполимеризацией крахмальных гранул и высвобождением глюкозы, обнаруживаемой при измерении содержания сахаров.

Содержание белка, фосфора, кальция и сырой золы изменялось только у линии iP7D, тогда как у iP содержание данных веществ в обработанном зерне не отличалось от их содержания в необработанном зерне. При этом содержание фосфора, белка, а сырой золы только на этапе обжаривания, у линии iP7D увеличивалось, а содержание кальция – уменьшалось. Влияние термообработки на содержание минеральных веществ в зерне неоднозначно. В ряде исследований было отмечено снижение содержания минеральных веществ в зерне после его обжаривания, предположительно, связанное с их осаждением на внутренней поверхности посуды, используемой для обжарки, либо с удалением перед обжариванием оболочек зерна, богатых этими веществами (Li et al., 2023). Однако в других работах показано повышение содержания минеральных веществ, в частности железа и кальция после термообработки, что может быть связано с разрушением фитатов, солей фитиновой кислоты, и высвобождением указанных компонентов (Dongmo et al., 2020; Mohamed Ahmed et al., 2020). Вероятно, наблюдаемое увеличение содержания фосфора и сырой золы так-

же связано с разрушением фитатов в ходе термообработки. В то же время, снижение содержания кальция может свидетельствовать о его реакции с компонентами смеси и выпадением в виде нерастворимых солей, что делает его недоступным для анализа. Снижение содержания сырой золы после измельчения может быть обусловлено осаждением ионов металлов на инструментах для измельчения.

В эксперименте наблюдалось увеличение содержания белка после обжаривания и измельчения зерна. Как было отмечено в ряде исследований, при термообработке происходит изменение пространственной структуры белка, которая позволяет ранее скрытым гидрофобным группам выйти на поверхность, делая их доступными для гликирования, агрегации или полимеризации субъединиц. В перечисленных реакциях может происходить увеличение молекулярной массы белка (Li et al., 2023). Однако, поскольку в настоящем исследовании содержание белка измеряли не прямым его выделением, а в пересчете на азот, то увеличение содержания белка не может быть объяснено образованием агрегатов с небелковыми компонентами смеси. Также оно не может быть объяснено концентрированием веществ вследствие потери влаги при термообработке, поскольку после проведения технологических операций все образцы были приведены к равновесной влажности.

Как видно из результатов проведенного анализа, изучаемые линии продемонстрировали различную чувствительность к термической обработке, обусловленную, вероятно, выявленными отличиями в биохимическом составе исходного зерна. В частности, большее содержание клетчатки в окрашенном антоцианами зерне может свидетельствовать о повышенной прочности клеточных стенок, для разрушения которых требуется больше энергии, чем для разрушения клеток неокрашенного зерна.

## Заключение

В ходе проведенного исследования установлены различия в биохимическом и минеральном составе зерна между почти-изогенными линиями пшеницы, отличающимися по антоциановой окраске. Линии различались по содержанию общей влаги, клетчатки, фосфора и сахара, но не по содержанию белка, кальция и сырой золы. Кроме того, показано, что исследованные линии неодинаково реагируют на термообработку. Большой чувствительностью к нагреванию характеризовалась неокрашенная линия: у нее, за исключением общей влаги и антоцианов, отмечено увеличение всех проанализированных показателей. Наблюдаемые отличия в реакции на термообработку могут быть обусловлены исходными различиями в составе компонентов у зерна линий, в частности, в содержании клетчатки. Благодаря использованию точной генетической модели почти-изогенных линий, обнаруженные различия можно связать с ранее выявленными генотипическими особенностями изучаемых линий. Это открывает

возможность для направленной селекции на улучшение качества не только зерна, но и конечного зернового продукта.

## References/Литература

- Chen Y., Belwal T., Xu Y., Ma Q., Li D., Li L., Xiao H., Luo Z. Updated insights into anthocyanin stability behavior from bases to cases: why and why not anthocyanins lose during food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;63:8639-8671. DOI: 10.1080/10408398.2022.2063250
- Dongmo H., Tambo S.T., Teboukeu G.B., Mboukap A.N., Fotso B.S., Tekam Djuidje M.C., Klang J.M. Effect of process and variety on physico-chemical and rheological properties of two corn flour varieties (*Atp* and *Kassai*). *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020;2:100075. DOI: 10.1016/j.jafr.2020.100075
- Francavilla A., Joye I.J. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*. 2020;12:1-20. DOI: 10.3390/nut12102922
- Garg M., Kaur S., Sharma A., Kumari A., Tiwari V., Sharma S., Kapoor P., Sheoran B., Goyal A., Krishania M. Rising demand for healthy foods-anthocyanin biofortified colored wheat is a new research trend. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:878221. DOI: 10.3389/fnut.2022.878221
- Gordeeva E.I., Shoeva O.Y., Khlestkina E.K. Marker-assisted development of bread wheat near-isogenic lines carrying various combinations of purple pericarp (*Pp*) alleles. *Euphytica*. 2015;203:469-476. DOI: 10.1007/s10681-014-1317-8
- Gordeeva E., Shoeva O., Mursalimov S., Adonina I., Khlestkina E. Fine points of marker-assisted pyramiding of anthocyanin biosynthesis regulatory genes for the creation of black-grained bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines. *Agronomy*. 2022;12:2934. DOI: 10.3390/agronomy12122934
- Li D., Wang P., Luo Y., Zhao M., Chen F. Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2017;57:1729-1741. DOI: 10.1080/10408398.2015.1030064
- Li L., Wang Q., Liu C., Hong J., Zheng X. Effect of oven roasting on major chemical components in cereals and its modulation on flour-based products quality. *Journal of Food Science*. 2023;88:2740-2757. DOI: 10.1111/1750-3841.16625
- Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*. 2021;10:86. DOI: 10.3390/plants10010086
- Medina Martinez O.D., Lopes Toledo R.C., Vieira Queiroz V.A., Pirozi M.R., Duarte Martino H.S., Ribeiro de Barros F.A. Mixed sorghum and quinoa flour improves protein quality and increases antioxidant capacity *in vivo*. *LWT*. 2020;129:109597. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109597
- Miraji K.F., Linnemann A.R., Fogliano V., Laswai H.S., Capuano E. Dry-heat processing at different conditions impact the nutritional composition and *in vitro* starch and protein digestibility of immature rice-based products. *Food and Function*. 2021;12:7527-7545. DOI: 10.1039/d1fo01240a
- Mohamed Ahmed I.A., Al Juhaimi F.Y., Osman M.A., Al Maiman S.A., Hassan A.B., Alqah H.A.S., Babiker E.E., Ghafoor K. Effect of oven roasting treatment on the antioxidant activity, phenolic compounds, fatty acids, minerals, and protein profile of *Samh* (*Mesembryanthemum forsskalei* Hochst) seeds. *LWT*. 2020;131:109825. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109825
- Raigar R.K., Mishra H.N. Study on the effect of pilot scale roasting conditions on the physicochemical and functional properties of maize flour (Cv. *Bio 22027*). *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018;42:1-9. DOI: 10.1111/jfpp.13602
- Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2020;2:6. DOI: 10.1186/s43014-020-0020-5
- State Standard 31640-2012. Feed. Methods for determining dry matter content. Moscow: Standartinform; 2020a. [in Russian] (ГОСТ 31640-2012. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. Москва: Стандартинформ; 2020a).

- State Standard 31675-2012. Feed. Methods for determining crude fiber content using intermediate filtration. Moscow: Standartinform; 2020b. [in Russian] (ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. Москва: Стандартинформ; 2020b).
- State Standard 13496.4-2019. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining nitrogen and crude protein content. Moscow: Standartinform; 2019a. [in Russian] (ГОСТ 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. Москва: Стандартинформ; 2019a).
- State Standard 32904-2014. Feed, compound feed. Determination of calcium content by titrimetric method. Moscow: Standartinform; 2020c. [in Russian] (ГОСТ 32904-2014. Корма, комбикорма. Определение содержания кальция титриметрическим методом. Москва: Стандартинформ; 2020c).
- State Standard 26657-97. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Method for determining phosphorus content. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology, and Certification; 2015a. [in Russian] (ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; 2015a).
- State Standard 26176-2019. Feed, compound feed. Methods for determining soluble and easily hydrolyzable carbohydrates. Moscow: Standartinform; 2019b. [in Russian] (ГОСТ 26176-2019. Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов. Москва: Стандартинформ; 2019b).
- State Standard 26226-95. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining crude ash. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology, and Certification; 2015b [in Russian] (ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; 2015b).
- Sumina A.V., Polonsky V.I., Shaldaeva T.M., Shulbaeva M.T. The content of antioxidants in the products of the Khakas national cuisine based on barley grain. *Bulletin of KrasSAU*. 2019;12:125-130. [in Russian] (Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М., Шулбаева М.Т., Содержание антиоксидантов в продуктах хакасской национальной кухни на основе зерна ячменя. *Вестник КрАСГАУ*. 2019;12:125-130). DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-125-130
- Tobolka A., Škorpilová T., Beňo F., Podskalská T., Rajchl A. Effect of various carbohydrates in aqueous solutions on color stability and degradation kinetics of selected anthocyanins during storage. *Foods*. 2024;13:3628. DOI: 10.3390/foods13223628
- Torbica A., Belović M., Popović L., Čakarević J. Heat and hydrothermal treatments of non-wheat flours. *Food Chemistry*. 2021;334:127523. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127523
- Wasserman L.A., Krivandin A.V., Shatalova O.V., Filatova A.G., Sergeev A.I., Vasil'ev V.G., Gordeeva E.I., Shoeva O.Y., Goldshtein V.G., Plashchina I.G. Structural and thermodynamic characteristics of starches from near-isogenic and substituted wheat lines. *Russian Journal of Physical Chemistry B*. 2025;19(1):91-103. DOI: 10.1134/S1990793124701574
- Wen Z., Juliana P., Dhugga H.S., Pacheco M., Martínez U.I., Aguilar A., Ibba M.I., Govindan V., Singh R.P., Dhugga K.S. Genome-wide association study of phytic acid in wheat grain unravels markers for improving biofortification. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:830147. DOI: 10.3389/fpls.2022.830147
- Zolotov Yu.A. (ed.). Fundamentals of analytical chemistry (Osnovy analiticheskoy khimii) 3rd edition revised and enlarged. Moscow: Higher School; 2004. Vol. 2. p.55-57. [in Russian] (Основы аналитической химии / под ред. Ю.А. Золотова. Изд-е 3-е, перераб. и доп. Москва: Высшая школа; 2004. Т. 2. С.55-57).

### Информация об авторах

**Алёна Владимировна Сумина**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры географии и геоэкологии, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, 655000 Россия, Республика Хакассия, Абакан, ул. Ленина, 90, alenasumina@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

**Вадим Игоревич Полонский**, доктор биологических наук, профессор, профессор-консультант, кафедра ландшафтной архитектуры и ботаники, Красноярский государственный аграрный университет, 660049 Россия, Красноярск, пр. Мира, 90, vadim.polonskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Елена Ивановна Гордеева**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, elgordeeva@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3166-7409>

**Камилла Ардаковна Молобекова**, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, k.molobekova@alumni.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1340-6759>

**Олеся Юрьевна Шоева**, кандидат биологических наук, заведующая, сектор функциональной генетики злаков, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10, olesya\_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

### Information about the authors

**Alena V. Sumina**, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Department of Geography and Geoecology, N.F. Katanov Khakass State University, 90, Lenina Street, Abakan, Republic of Khakassia, 655000 Russia, alenasumina@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0466-6833>

**Vadim I. Polonskiy**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Professor-consultant, Department of Landscape Architecture and Botany, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Mira Avenue, Krasnoyarsk, 660049 Russia, vadim.polonskiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7183-0912>

**Elena I. Gordeeva**, Cand. Sci (Biology), Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090 Russia, elgordeeva@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3166-7409>

**Camilla A. Molobekova**, Graduate Student, Junior Researcher, Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090 Russia, k.molobekova@alumni.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1340-6759>

**Olesya Y. Shoeva**, Cand. Sci. (Biology), Head, Sector of Functional Genetics of Cereals, Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090 Russia, olesya\_ter@bionet.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5289-8631>

---

**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 27.11.2025; одобрена после рецензирования 15.12.2025; принята к публикации 23.12.2025.

The article was submitted on 27.11.2025; approved after reviewing on 15.12.2025; accepted for publication on 23.12.2025.

Научная статья

УДК 633.522

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-08



## Изменчивость хозяйственно ценных признаков конопли посевной в зависимости от региона возделывания

И.В. Ущаповский, Н.С. Шиманская, В.А. Серков, С.В. Иванова

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

*Автор, ответственный за переписку:* Наталья Сергеевна Шиманская, n.shimanskaya@fncl.k.ru

Увеличение посевных площадей под определенной сельскохозяйственной культурой во многом зависит от уровня адаптивного потенциала, которым обладают новые или находящиеся в производстве сорта. Целью данного исследования являлась сравнительная оценка изменчивости хозяйственно ценных признаков сортов конопли посевной среднерусского экотипа – ‘Надежда’, ‘Людмила’, ‘Сурская’, ‘Вера’ – в условиях Среднего Поволжья и Западной части Центрального региона Нечерноземной зоны России. В 2023-2024 годах исследования проводили на экспериментальных полях Федерального научного центра лубяных культур (ФНЦ ЛК) в Пензенской и Смоленской областях. Агроклиматические условия регионов значительно отличались по влагообеспеченности. Сумма активных температур в Пензенской области составила в 2023 году 2397°C, в 2024 – 2234°C, количество осадков 177 мм и 156 мм соответственно. В Смоленской области – сумма активных температур в 2023 году – 2299°C, в 2024 году – 2385°C, количество осадков 236 мм и 358 мм, соответственно. Благоприятные климатические условия двух лет испытаний позволили в значительной мере реализовать сортовой потенциал, проявляющийся в условиях оригинатора. В Смоленской области максимальные показатели высоты растения достигали 191 см, технической длины 162 см, 7,8 г – массы семян с растения. В Пензенской области эти значения доходили до 281 см по высоте, 262 см по технической длине и 18,7 г по массе семян с растения. Изменчивость хозяйственно ценных признаков у всех изучаемых сортов зависела от тепло- и влагообеспеченности растений. В условиях Западной части Центрального региона уровень изменчивости основных хозяйственно ценных признаков был выше, а именно коэффициент вариации достигал 16,2% по высоте растения, 13,9% по технической длине, 27,0% по диаметру стебля. В Среднем Поволжье максимальные значения изменчивости были отмечены по высоте растений 13,6%, технической длине 13,4%, по диаметру стебля 19,8%. Хозяйственно ценные признаки, характеризующие урожайность семян, более изменчивы, чем по соломе: максимальный уровень изменчивости отмечен по массе семян с растения в Пензенской области – 46%, в Смоленской области – 63,9%. Использование методов математического анализа позволило установить, что среди изученных сортов сорт ‘Вера’ обладает высокой пластичностью: коэффициент линейной регрессии на условия среды по Эберхарту и Расселу  $b_1 = 1,4$ ; и низкой стабильностью: средневзвешенное значение абсолютных баллов WAASB=54,4; баланс урожайности и стабильности – индекс WAASBY=50,0. Сорт ‘Сурская’ демонстрирует высокую стабильность: WAASB=19,7; WAASBY=52,7. Наиболее продуктивным по урожаю семян в обеих зонах испытания был сорт ‘Вера’.

**Ключевые слова:** селекция, конопля посевная, безнаркотический сорт, генотип, изменчивость, пластичность, стабильность**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ФНЦ ЛК по теме № FGSS-2024-0002**Для цитирования:** Ущаповский И.В., Шиманская Н.С., Серков В.А., Иванова С.В. Изменчивость хозяйственно ценных признаков конопли посевной в зависимости от региона возделывания. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):55-67. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-08**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.

© Ущаповский И.В., Шиманская Н.С., Серков В.А., Иванова С.В., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o8

## Variability of economically important traits of hemp depending on the region of cultivation

Igor V. Ushchapovsky, Natalia S. Shimanskaya, Valerian A. Serkov, Svetlana V. Ivanova

Federal Scientific Center of Bast Crops, Tver, Russia

**Corresponding author:** Natalia S. Shimanskaya, n.shimanskaya@fncl.ru

Increasing the area under a given agricultural crop largely depends on the adaptive potential of new cultivars or those in production. The objective of this study was to comparatively assess the variability of economically important traits in hemp cultivars of the Central Russian ecotype 'Nadezhda', 'Lyudmila', 'Surskaya', and 'Vera' in the Middle Volga region and the western part of the Central Non-Chernozem Zone of Russia. In 2023-2024, the research was conducted in experimental fields at the Federal Scientific Center for Bast Crops in the Penza and Smolensk regions. The agroclimatic conditions of the regions varied significantly in terms of moisture availability. The sum of active temperatures in the Penza Region was 2397°C in 2023 and 2234°C in 2024, with precipitation of 177 mm and 156 mm, respectively. In the Smolensk Region, the sum of active temperatures was 2299°C in 2023, and 2385°C in 2024, with precipitation of 236 mm and 358 mm, respectively. The favorable climatic conditions during the two years of testing allowed for a significant realization of the cultivars' potential, as observed under the conditions of the originator. In the Smolensk Region, maximum plant height reached 191 cm, technical length 162 cm, and seed weight per plant was 7.8 g. In the Penza Region, these values reached 281 cm in height, 262 cm in technical length, and 18.7 g in seed weight per plant. Variability of economically important traits in all studied cultivars depended on heat and moisture availability. In the conditions of the western part of the Central region, the level of variability of the main economically important traits was higher, namely, the variation coefficient reached 16.2% for plant height, 13.9% for technical length, and 27.0% for stem diameter. In the Middle Volga region, the maximum variability values were noted at 13.6% for plant height, 13.4% for technical length, and 19.8% for stem diameter. Economically important traits characterizing the generative structure are more variable than vegetative ones: the maximum level of variability was recorded at 46% for seed weight per plant in the Penza Region and 63.9% in the Smolensk Region. Using mathematical analysis methods, it was established that among the studied cultivars 'Vera' exhibited high plasticity: the linear regression coefficient for environmental conditions according to Eberhart and Russell (b) was 1.4, and low stability: the weighted average of absolute scores (WAASB) was 54.4; and the yield and stability balance index (WAASBY) was 50.0. Cv. 'Surskaya' demonstrated high stability with WAASB=19.7, and WAASBY=52.7, and cv. 'Vera' demonstrated the highest seed yield in both test zones.

**Keywords:** breeding, hemp, non-narcotic cultivar, genotype, variability, plasticity, stability**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the State Assignment to the Federal Scientific Center of Bast Crops in accordance with the Thematic Plan topic No. FGSS-2024-0002**For citation:** Ushchapovsky I.V., Shimanskaya N.S., Serkov V.A., Ivanova S.V. Variability of economically important traits of hemp depending on the cultivation region. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):55-67. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o8

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.

© Ushchapovsky I.V., Shimanskaya N.S., Serkov V.A., Ivanova S.V., 2025

## Введение

Конопля посевная или техническая *Cannabis sativa* L. – многоцелевая культура, приспособленная к широкому спектру агроэкологических условий, возделывается во многих странах мира (Vonapartis et al., 2015; Abdollahi et al., 2020; Tsaliki et al., 2021; Pavlovic et al., 2019). Одной из характерных биологических свойств этого вида является широкое фенотипическое разнообразие растений, обусловленное двудомностью и особенностями размножения (Anwar et al., 2006; Petit et al., 2020). Изучение особенностей изменчивости хозяйственно ценных признаков конопли в различных агроэкологических условиях является актуальным направлением в исследованиях, проводимых на этой культуре (Sraka et al., 2019; Egorova, Kardashevskaya, 2016; Chaisan et al., 2025; Krylova et al., 2024). В литературе отмечено, что при генотипировании конопли путем секвенирования, выявляются значительные генетические различия, как между сортами конопли, так и особями одного сорта (Trubanová et al., 2023; 2025; Mostafaei Dehnavi et al., 2025; Babaei et al., 2024; Alsaleh, Yilmaz, 2025; Amarasinghe et al., 2022; Younas et al., 2024; Shimanskaia et al., 2023). У растений конопли отмечают значительное генотипическое разнообразие в пределах потомства одного отдельного материнского растения, проявляющееся в изменчивости морфометрических признаков растений. Степень варьирования значений основных хозяйственно ценных признаков определяет тактику отбора наиболее адаптивных перспективных генотипов при создании новых сортов.

Изменчивость растений конопли является основой для селекционного процесса, направленного на увеличение величины и качества урожая, но, одновременно с этим, изменчивость становится проблемой для современного сельскохозяйственного производства, опирающегося на фенотипическую однородность (Vonapartis et al., 2015; Petit et al., 2020; Shimanskaia et al., 2023). Исходя из необходимости ускоренного восстановления отрасли коноплеводства в Российской Федерации, необходимо создавать широкий ассортимент сортов конопли посевной, обладающих комплексом полезных хозяйственных признаков с высокой степенью однородности и адаптивности, что позволит расширить ареал возделывания культуры.

Цель исследований – изучение изменчивости хозяйственно ценных признаков конопли посевной в условиях Среднего Поволжья и Западной части Центрального региона Нечерноземной зоны РФ.

## Материалы и методы

Исследования проводили в 2023-2024 годах на экспериментальных полях Федерального научного центра лубяных культур (ФНЦ ЛК) в Пензенской (Среднее Поволжье) и Смоленской (Западная часть Центрального региона) областях, расположенных на расстоянии более

1500 км и значительно отличающихся по почвенно-климатическим условиям.

Объектами исследований служили четыре сорта технической конопли среднерусского экотипа: ‘Вера’ (районирован для 12 регионов), ‘Людмила’ (для 7-го региона), ‘Надежда’ (12 регионов), ‘Сурская’ (12 регионов). Оригинатором сортов является ФГБНУ ФНЦ ЛК – Обособленное подразделение Пензенский НИИСХ (ОП Пензенский НИИСХ) (Serkov, 2022).

Изучали характеристики основных хозяйственно ценных признаков: высота растения, техническая длина и диаметр стебля, длина метелки, количество междоузлий, масса семян с растения. Для оценки общей изменчивости признаков (по  $C_v$ , %) применяли шкалу уровней изменчивости: очень низкий – меньше 7%; низкий – 7-15%; средний – 15-25%; повышенный – 26-35%; высокий – 36-50%; очень высокий – больше 50% (Мамаев, 1975). Оценку экологической пластичности ( $b_i$ ) проводили по методу S.A. Eberhart, W.A. Russell (Eberhart, Russell, 1966) в изложении В.А. Зыкина (Zykin et al., 2015). Показатель пластичности – коэффициент регрессии  $b_i$  рассчитывали по формуле (1):

$$b_i = \frac{\sum Y_{ij} I_j}{\sum I_j^2} \quad (1)$$

где:  $\sum Y_{ij} I_j$  – сумма произведений урожайности  $i$ -го сорта в  $j$ -й среде  $Y_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, v$ ;  $j=1, 2, \dots, n$ ) на соответствующую величину индекса  $j$ -й среды  $I_j$ , рассчитываемого по формуле (2):

$$I_i = \frac{\sum Y_{ij}}{v} - \frac{\sum \sum Y_{ij}}{vn} \quad (2)$$

$\sum I_j^2$  – сумма квадратов индексов условий среды.

Генотипическая стабильность сортов была количественно оценена по семенной продуктивности и урожайности соломы с использованием средневзвешенного значения абсолютных оценок из разложения сингулярных значений матрицы наилучших линейных несмещенных предсказаний для эффектов GEI (Genotype by Environment Interaction), сгенерированных индексом линейной модели со смешанными эффектами – WAASB (Weighted Average of Absolute Scores), и индексом превосходства WAASBY (The WAASB by Y Index). Статистический анализ был выполнен с использованием программы R версии 4.5.2 (Olivoto, 2023) пакета «metan» (CRAN, 2025).

WAASB – это индекс стабильности, который объединяет информацию из нескольких значимых АММИ (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction, аддитивные основные эффекты и мультипликативное взаимодействие) компонентов (IPCA, Interaction Principal Component Axis, ось главных компонентов взаимодействия), позволяющих оценить, насколько сильно генотип

отклоняется от стабильного в различных средах. Значение WAASB (формула 3) может быть получено из сингулярного разложения матрицы, содержащей наилучшие линейные несмещенные прогнозы (BLUP – Best Linear Unbiased Prediction, наилучший линейный несмещенный прогноз) для эффектов взаимодействия G×E (Genotype by Environment Interaction, взаимодействия "Генотип × Среда"), полученных с использованием линейной модели смешанных эффектов и переменной (Olivoto et al., 2019; Olivoto, Lúcio, 2020; Olivoto, 2023):

$$WAASB_i = \frac{\sum_{k=1}^p |IPCA_{ik} \times EP_k|}{\sum_{k=1}^p EP_k} \quad (3)$$

$IPCA_{ik}$  – баллы i-го генотипа в k-й PCA;  
 $EP_k$  – величина дисперсии k-го PCA для  $k=1,2,\dots,p$ ,  
 $p = \min(g-1; e-1)$ .

Индекс WAASBY – индекс превосходства, который позволяет учитывать одновременно продуктивность (GY) и стабильность генотипов (WAASB). Сначала GY и WAASB стандартизуют, получают переменные  $rG_i$  и  $rW_i$ , варьирующие в диапазоне 0-100. Поскольку наилучшие значения GY – максимальные, а WAASB – минимальные, преобразования выполнены в соответствии со следующими формулами (4, 5):

$$rG_i = \frac{100 - 0}{G_{\max} - G_{\min}} \times (G_i - G_{\max}) + 100 \quad (4)$$

$$rW_i = \frac{0 - 100}{W_{\max} - W_{\min}} \times (W_i - W_{\max}) + 0 \quad (5)$$

Затем продуктивности и стабильности присваиваются веса  $\theta_y$  и  $\theta_w$  соответственно, которые в сумме дают 100%.

Индекс превосходства рассчитывают по формуле (6):

$$WAASBY_i = \frac{(rY_i \times \theta_y) + (rW_i \times \theta_w)}{\theta_y + \theta_w} \quad (6)$$

Высокое числовое значение  $WAASB_i$  свидетельствует о нестабильности сорта, а высокие показатели  $WAASBY_i$  о превосходстве сорта (Olivoto et al., 2019).

Полевые исследования в Смоленской области проводили на дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почве с содержанием гумуса 2,0-2,65%, определённым фотометрическим методом (State Register, 2021), обменного фосфора – от 160 до 178 мг/кг почвы, обменного калия – от 104 до 119 мг/кг почвы по Кирсанову (State Register, 2013, 2019), pH 5,5-5,7.

В Пензенской области почвы были представлены черноземом выщелоченным, среднемощным, тяжело-суглинистым с содержанием гумуса 4,2-4,6% по Тюрину, обменного фосфора – 150-165 мг/кг почвы, обменного калия – 160-180 мг/кг почвы по Кирсанову, pH 5,7-6,3.

Технология возделывания – общепринятая для данной технической культуры (Serkov et al., 2011). Способ посева – широкорядный с междурядьями 70 см. Посев проводили в 1-2-й декадах мая. Размещение делянок рандомизированное, повторность четырехкратная.

Фенологические наблюдения и полевые учеты осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВАСХНИЛ (Bedak, 1980). Уборку урожая выполняли вручную в первой декаде сентября. Статистическую обработку хозяйственно ценных признаков проводили с помощью Microsoft Excel 2010 (Dospikhov, 2012).

По данным метеонаблюдений погодные условия вегетационных периодов различались по обеспеченности тепла и влаги как по годам, так и по регионам возделывания (табл. 1).

**Таблица 1. Метеорологические данные вегетационного периода по регионам возделывания, 2023-2024 годы**

**Table 1. Meteorological data for the growing season in cultivation regions, 2023-2024**

Место/ Location	Год/ Year	Сумма активных температур, °C/ Sum of active temperatures, °C	Сумма осадков, мм/ Total precipitation, mm	ГТК (по Селянину)/ HTC (according to Selyaninov, 1928)
Пенза	2023	2397	177	0,7
	2024	2234	156	0,7
	Среднеголетние*	2250	170	0,7
Смоленск	2023	2299	236	1,1
	2024	2385	313	1,3
	Среднеголетние **	2070	303	1,4

\*по данным Пензенский ЦГМС; \*\*по данным метеорологической станции Рославль/

\* – according to Penza Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring;

\*\* – according to the Roslavl meteorological station

## Результаты и обсуждение

Период вегетации конопли посевной в Пензенской области характеризовался достаточной теплообеспеченностью и удовлетворительным уровнем влагообеспеченности. Дефицит влаги (гидротермический коэффициент, ГТК 0,7) в годы исследований негативно отразился на величине основных хозяйственно полезных характеристик урожая. Наиболее сильно отсутствие осадков проявилось в межфазный период «бутионизация-цветение» (ГТК 0,2) и «цветение-массовое созревание семян» (ГТК 0,1-0,4).

В Смоленской области распределение тепла и влаги в период вегетации конопли имело свои особенности. Условия 2023 года отличались неравномерным распределением как тепла, так и влаги на протяжении всего периода вегетации, что послужило причиной увеличения длительности вегетации культуры до 134 суток. Острый дефицит влаги был отмечен в период от «бутионизации» до фазы «массового цветения» (ГТК 0,2). Величина среднесуточной температуры воздуха достигала 17°C, что ниже аналогичных значений в Пензенской области на 4°C. Оптимальные условия формирования всех хозяйственно ценных признаков сложились в 2024 году, когда обильное выпадение осадков сочеталось со сравнительно высокими среднесуточными температурами воздуха, достигающими значения 21°C (ГТК 1,1-1,3).

Таким образом, основной климатический фактор, определяющий величину хозяйственно ценных признаков конопли посевной в Пензенской области – низкий уровень влагообеспеченности, в Смоленской области чаще всего – недостаточный уровень теплообеспеченности. Характер агроэкологических условий в годы исследований позволил оценить проявление хозяйственно ценных признаков у изучаемых сортов и выделить перспективные генотипы растений с целью дальнейшего использования в качестве источника исходного материала для селекционного процесса по созданию новых высокопродуктивных сортов, приспособленных к почвенно-климатическим условиям Центрального и Северо-Западного регионов РФ. Сравнительная оценка хозяйственно ценных признаков изученных сортов конопли посевной выявила зависимость реализации потенциала генотипа от условий окружающей среды.

Почвенно-климатические факторы местоположения оригинатора, Пензенской области, позволяют раскрывать сортовой потенциал создаваемых сортов по основным характеристикам урожайности – соломе и семенам. Даже в условиях засушливого года продуктивность была выше, чем в условиях Западной части Центрального региона Нечерноземья, а именно Смоленской области. Однако, востребованность на рынке волокна и масла сырья из конопли высока, поэтому экономическая эффективность производства этой культуры в условиях Нечерноземья

позволяет развивать коноплеводство и в этих регионах. Подтверждением этому служит рассчитанный нами уровень рентабельности (Vasilkova et al., 2022) возделывания конопли посевной, достигающий в Смоленской области 160-219%, в Пензенской области – 200-222%. В связи с этим ключевое значение для освоения в производстве новых сортов является изучение реакций современных сортов конопли на изменение средовых характеристик.

В условиях Среднего Поволжья, где были созданы сорта, низкий и средний уровень изменчивости был характерен для следующих признаков: высота растения (2,5-13,6%), техническая длина стебля (3,4-13,4%), диаметр стебля (5,5-19,8%) и количество междоузлий (3,3-8,5%). В целом, размах варьирования общей высоты растений по годам исследований в 2023 году составил 224-281 см, а в 2024 году – 150-213 см. При достаточном режиме теплообеспеченности и недостаточном увлажнении в условиях 2023 года все сорта сформировали высокорослые растения – от 235 см до 276 см. В 2024 году период засухи был длительнее, что отрицательно отразилось на величине данного показателя у всех сортов, но наиболее сильно это было выражено у сортов ‘Надежда’ и ‘Людмила’. Средняя высота растений у данных сортов была ниже, чем в 2023 году, на 58 см и 71 см, что составило 24,2 и 25,7% соответственно.

В многочисленных работах по сортоиспытанию, особенно в материалах Госсортокомиссии, отмечается, что возделывание сортов в условиях, значительно отличающихся от условий селекцентра и первичного семеноводства, приводит к увеличению изменчивости морфометрических показателей растений (Serkov et al., 2024; Younas et al., 2024; Mostafaei Dehnavi et al., 2025; Shimanskaya et al., 2024). В условиях Западной части Центрального региона изменчивость хозяйственно ценных признаков была выше: в диапазоне от 5,4% до 16,2% – по высоте растения, от 2,3% до 13,9% – по технической длине, от 5,7% до 27,0% – по диаметру стебля, от 1,8% до 7,4% – по количеству междоузлий. Полученные результаты согласуются с данными различных исследователей (Babaei et al., 2024; Trubanová et al., 2025; Uschapovsky et al., 2017), которые также отмечают повышенную фенотипическую изменчивость диаметра стебля конопли  $C_V > 30\%$ .

В благоприятных условиях 2024 года конопля в значительной мере реализовала сортовой потенциал. Для сравнения, в 2023 году максимальная высота растений – 101 см, что ниже значений 2024 года на 90 см или на 52,9%. Данная закономерность отмечена для всех хозяйственно ценных признаков в разной степени (табл. 2).

Установлено, что у конопли посевной признаки генеративной системы более изменчивы, чем признаки вегетативной. Размах изменчивости показателей длины метелки и массы семян с растения в Пензенской области – от среднего уровня до повышенного и высокого, в Смоленской области – от повышенного до высокого.

**Таблица 2. Изменчивость основных хозяйственно ценных признаков конопли посевной в различных регионах возделывания, 2023-2024 годы**

**Table 2. Variability of the economically important traits of hemp in different cultivation regions, 2023-2024**

Показатель/ Indicator		Сорт/ Cultivar							
		‘Надежда’/ ‘Nadezhda’		‘Людмила’/ ‘Lyudmila’		‘Вера’/ ‘Vera’		‘Сурская’/ ‘Surskaya’	
		2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Пензенская область/ Penza Region									
Высота растения	min-max, см	231-244	157-187	260-281	199-213	227-240	183-203	224-246	150-207
	среднее, см	239	181	276	205	235	200	241	191
	коэф. вар. *, %	2,5	7,4	4,4	2,9	2,5	3,9	3,9	13,6
Техническая длина стебля	min-max, см	191-206	130-151	221-262	150-180	178-197	132-157	188-199	116-160
	среднее, см	200	142	237	165	186	140	195	136
	коэф. вар., %	3,4	6,2	7,6	8,3	4,4	8,4	2,5	13,4
Длина метелки	min-max, см	33-49	27-42	24-148	31-53	43-51	46-70	29-58	34-58
	среднее, см	40	34	37	40	48	56	42	42
	коэф. вар., %	16,9	19,6	23,3	25,3	7,2	18,5	28,5	22,2
Масса семян с растения	min-max, г	6,6-12,2	2,3-5,0	5,2-9,0	1,9-4,3	6,3-18,7	5,6-20,1	4,8-8,8	3,8-6,9
	среднее, г	9,2	3,6	7,2	3,0	13,5	13,0	6,4	5,7
	коэф. вар., %	26,2	32,9	21,7	33,8	45,2	46,0	28,5	23,3
Диаметр стебля	min-max, мм	8,0-10,1	6,2-7,8	9,9-11,5	6,7-9,0	8,9-10,1	8,2-9,7	7,6-10,5	6,4-9,3
	среднее, мм	9,2	6,9	10,9	7,7	9,5	8,8	9,0	7,8
	коэф. вар., %	9,5	10,7	6,3	14,4	5,5	7,8	13,7	19,8
Кол-во м/уз **	min-max, шт.	10-12	11-12	12-14	12-13	10-11	10-12	10-11	11-12
	среднее, см	11,1	11,0	13,0	13,0	10,9	11,0	11,0	11,0
	коэф. вар., %	7,3	4,4	4,7	3,9	4,4	8,5	3,3	4,4
Смоленская область/ Smolensk Region									
Высота растения	min-max, см	86-97	151-187	94-132	154-191	84-101	144-167	88-101	152-178
	среднее, см	89	166	112	176	91	158	92	164
	коэф. вар., %	5,4	9,2	16,2	8,7	7,9	6,4	6,5	6,9
Техническая длина стебля	min-max, см	71-75	129-162	73-88	126-153	66-84	119-137	67-91	134-147
	среднее, см	74	141	80	143	72	130	75	139
	коэф. вар., %	2,3	10,2	8,0	8,5	11,8	6,4	13,9	4,1
Длина метелки	min-max, см	14-25	23-27	21-45	29-38	17-22	25-31	11-23	17-31
	среднее, см	15	25	32	32	19	28	17	27
	коэф. вар., %	28,5	7,9	38,5	13,3	11,3	11,0	28,1	26,6
Масса семян с растения	min-max, г	3,6-4,1	3,1-7,6	4,8-5,5	1,2-7,8	4,3-4,9	3,6-6,4	3,8-4,9	2,6-5,6
	среднее, г	3,8	4,5	5,1	4,2	4,5	5,2	4,5	3,5
	коэф. вар., %	4,8	46,0	7,0	63,9	5,0	23,7	10,7	40,8
Диаметр стебля	min-max, мм	2,3-4,6	6,5-7,7	3,9-6,3	6,9-8,8	4,1-4,7	7,2-8,7	4,0-4,7	7,1-8,5
	среднее, мм	4,3	6,9	4,7	8,2	4,4	8,0	4,4	7,9
	коэф. вар., %	27,0	7,9	23,9	10,3	5,7	9,4	7,8	8,7
Кол-во м/уз	min-max, шт.	9-10	10-11	9-10	12-13	9-10	10-12	9-10	11-12
	среднее, шт.	9	11	10	12	9	11	9	11
	коэф. вар., %	1,8	4,7	3,2	4,1	2,6	7,4	3,8	4,4

\* – коэффициент вариации/ coefficient of variation; \*\* – количество междоузлий/ number of internodes

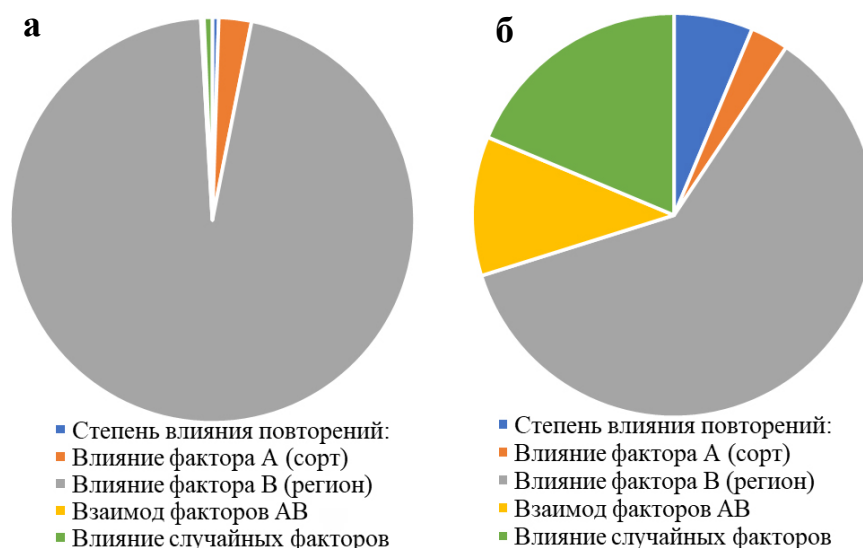
Самыми изменчивыми генеративными признаками в Пензенской области являются масса семян с растения (C<sub>v</sub> до 46%), в Смоленской – масса семян с растения (до 63,9%) и длина метелки (до 38,5%). Такая тенденция связана с особенностями формирования генеративных органов и обусловлена длиной дня и величиной (поступлением) солнечной радиации. В Пензенской области, где величина фотоактивной радиации значительно больше, растения конопли зацветают раньше и цветут более продолжительное время (Hamami, 2022), что обеспечивает обильное цветение с образованием длинных соцветий и последующим ускоренным формированием полноценных семян. У изучаемых сортов в годы исследований величина метелки изменялась в пределах от 24 см до 70 см (C<sub>v</sub> 7,2-28,5%), а масса семян с растения составила 1,9-20,1 г (C<sub>v</sub> 21,7-46%). Максимальные показатели семенной продуктивности в оба года исследований были отмечены у сорта 'Вера': масса семян с растения в 2023 году варьировала от 6,3 г до 18,7 г, в 2024 году – от 5,6 г до 20,1 г, что практически в два раза выше этих показателей у других изучаемых сортов. Сорт 'Вера' в различных агроэкологических условиях продемонстрировал высокую изменчивость признака «масса семян с растения» – 45,2-46,0%. Средние значения по данному признаку не различались по годам и составили 13 г, что свидетельствует об адаптации генотипа к условиям окружающей среды. Вероятнее всего, это может указывать на повышенную засухоустойчивость данного генотипа, что позволяет ему при недостаточном увлажнении реализовывать свой биологический потенциал.

В Смоленской области установлена самая высокая

изменчивость по показателям «длина соцветий» и «масса семян с растения». Очень высокие показатели величины коэффициента вариации для длины соцветий были отмечены у сорта 'Людмила' – 38,5%, тогда как у других сортов изменчивость длины соцветий ниже: от 7,9 до 28,1%. Данная тенденция прослеживается и по признаку «масса семян с растения».

На основании экспериментальных данных установлено, что в условиях Пензенской области формируются более высокие показатели основных хозяйственно ценных признаков изучаемых сортов конопли. В агроклиматических условиях Смоленской области изучаемые сорта конопли в условиях 2024 года показали высокую способность к адаптации, которая проявилась в формировании всех рассматриваемых хозяйственно ценных признаков, величина которых была сопоставима с результатами, полученными в Пензенской области.

Для выявления достоверности влияния факторов генотипа и региона возделывания на изменчивость изучаемых признаков был проведен двухфакторный дисперсионный анализ. Установлено, что генотип растений оказывал достоверное влияние на варьирование диаметра стебля – доля влияния – 52,8%, массу семян с растения – доля влияния 38,3% и техническую длину стебля – доля влияния 27,3%. Уровень воздействия генотипа различался по годам исследований: в 2023 году его значение достигало 23%, в 2024 году – 53%. Эффект фактора «регион возделывания» в большой степени проявился во влиянии на высоту растений в сложных условиях 2023 года – доля влияния 95,9% и длину метелки – доля влияния 60,8% (рис. 1).



**Рис. 1. Степень влияния факторов на показатели длины метелки и высоты растения (2023)**

а – степень влияния факторов на высоту растения, б – степень влияния факторов на длину метелки

**Fig. 1. The degree of factors' influence on the panicle length and plant height indicators (2023)**

а – the degree of factor influence on plant height; б – the degree of factor influence on panicle length

В более благоприятном 2024 году значение данного фактора было ниже: в случае влияния на длину растения – 36,31%, в случае влияния на длину метелки – 45,2%. Таким образом, фактор условий региона возделывания оказал существенное влияние на основные хозяйственно ценные признаки.

Изменчивость показателей высоты растения, длины метелки и массы семян отразилась на семенной продуктивности изучаемых сортов конопли: в Пензенской области минимальная масса семян 300 г/ 100 раст. отмечена у сорта ‘Людмила’, а максимальная 1340 г/

100 раст. – у сорта ‘Вера’. В Смоленской области минимальный показатель 350 г/ 100 раст. зафиксирован у сорта ‘Сурская’, а максимальный 520 г/ 100 раст. – у сортов ‘Людмила’ и ‘Вера’.

При сравнении средних показателей урожайности семян каждого сорта в двух регионах за два года испытаний с общей средней величиной можно считать, что сорт ‘Вера’ по продуктивности семян более предпочтителен, а сорт ‘Людмила’ показывает в большинстве случаев показатели ниже общего среднего (рис. 2).

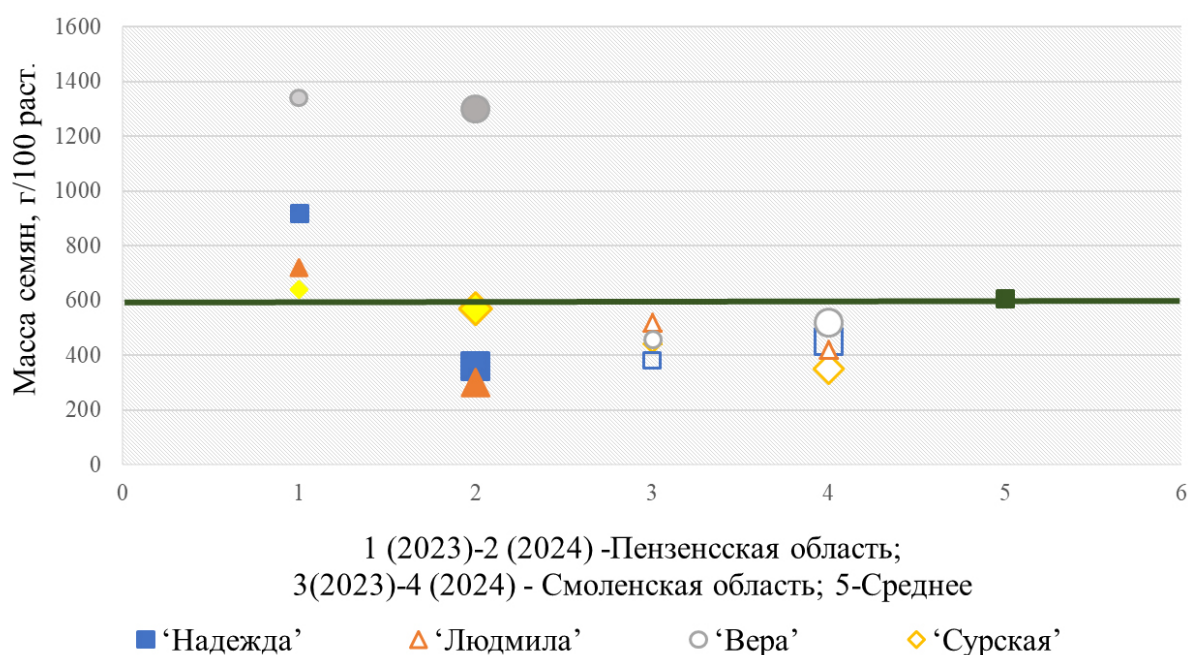


Рис. 2. Семенная продуктивность сортов конопли посевной в различных регионах возделывания

Fig. 2. Seed productivity of hemp cultivars in different cultivation regions

При сравнении средних показателей урожайности соломы каждого сорта в двух регионах за два года испытаний с общей средней величиной можно считать, что сорт ‘Людмила’ для производства волокна более предпочтителен. Сорт ‘Сурская’ показывает невысокие значения по урожайности соломы и самые незначительные отклонения от общего среднего (рис. 3).

Данные, полученные в течение двух лет испытаний в двух географически отдаленных регионах, позволяют оценить экологическую пластичность и стабильность сортов конопли. Анализ стабильности сортов по урожайности семян показал, что максимальная экологическая пластичность характерна для сорта ‘Вера’ ( $b_i = 1,4$ ); умеренная для сортов ‘Людмила’ и ‘Сурская’ ( $b_i = 0,9$ ) и слабая для сорта ‘Надежда’ ( $b_i = 0,7$ , рис. 4).

Значение коэффициента линейной регрессии ( $b_i$ ) у сортов ‘Людмила’, ‘Сурская’ и ‘Надежда’ ниже единицы, поэтому они будут слабее реагировать на улучшение

условий возделывания. Метод WAASB (Weighted Average of Absolute Scores), применяемый для оценки стабильности сортов в условиях изменяющегося климата и различных почвенно-климатических условий, подтверждает выводы предыдущих исследований. Данный анализ урожайности соломы и семян позволяет выделить для определенных почвенно-климатических условий сорта, стабильные по урожайности и способные реализовывать потенциал продуктивности при улучшении условий выращивания. На основании расчетов установлено, что сорт ‘Вера’ (WAASB=54,4) отличается высокой отзывчивостью на изменение условий выращивания, обладает значительным потенциалом, имеет низкую стабильность и зависит от условий окружающей среды. Сорт ‘Сурская’, напротив, демонстрирует минимальную зависимость от окружающих условий и высокую стабильность (WAASB=19,7). Сорта ‘Надежда’ (WAASB=33,0) и ‘Людмила’ (WAASB=29,2) сочетают продуктивность

с хорошей стабильностью. Оптимальный баланс урожайности семян и стабильности по комплексному индексу WAASBY отмечен у сорта 'Сурская' – 52,7. Зависимость

урожайности соломы у сортов конопли от экологических параметров имеет схожую тенденцию (табл. 3).

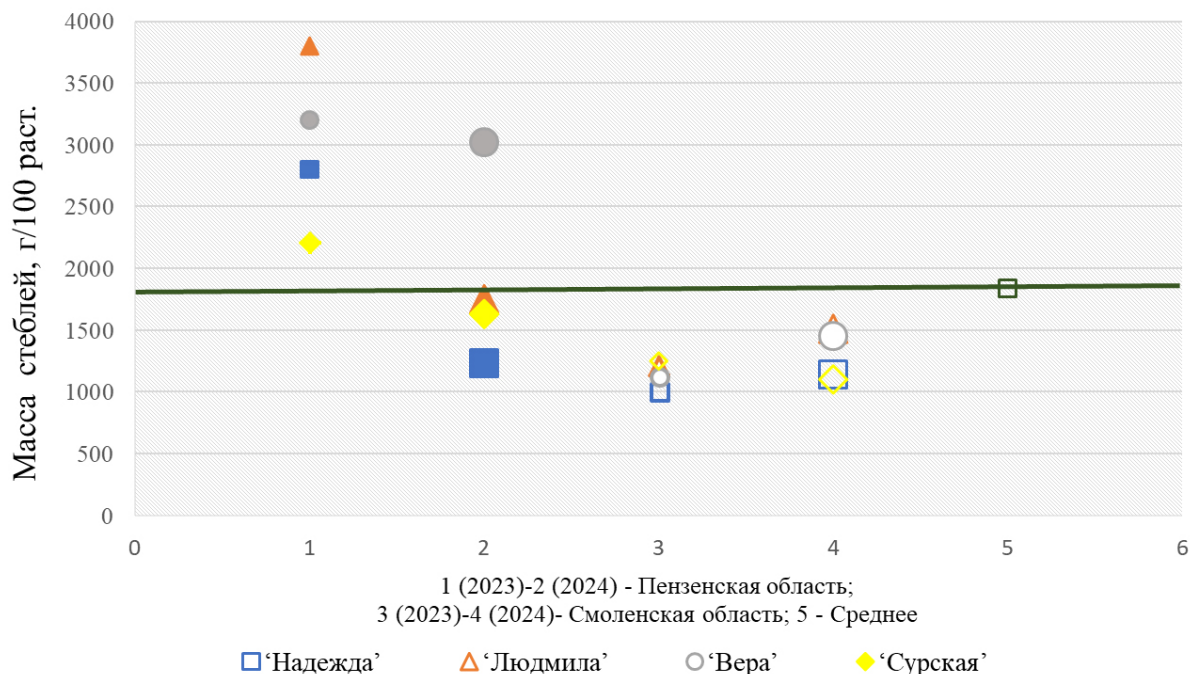


Рис. 3. Продуктивность сортов конопли посевной в различных регионах возделывания (солома)

Fig. 3. Productivity of hemp cultivars in different cultivation regions (straw)

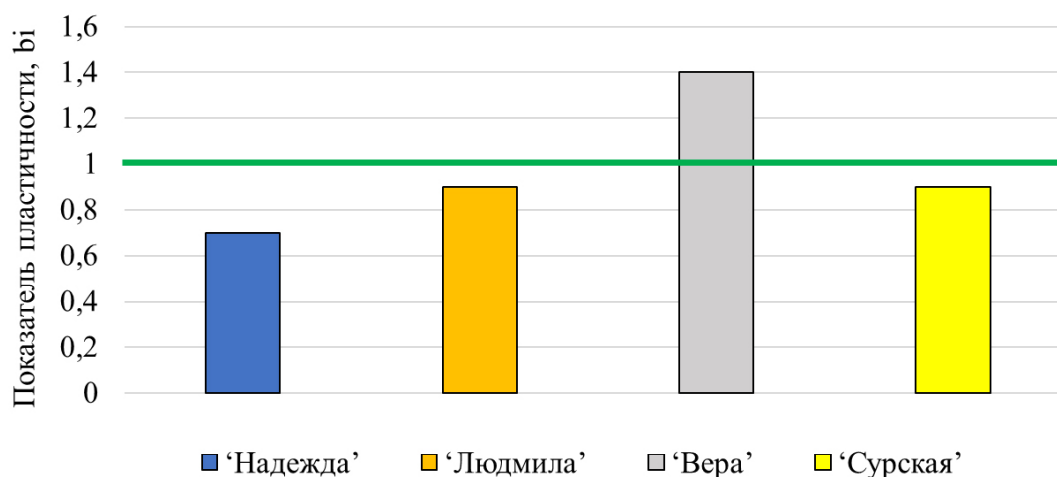


Рис. 4. Показатель пластичности ( $b_i$ )\* сортов конопли посевной по семенной продуктивности растений

\*( $b_i$ )>1 – сорт отзывчивый на условия возделывания; ( $b_i$ )<1 – реакция сорта на изменения среды слабее по сравнению с другими генотипами; ( $b_i$ )=1 – полное соответствие сорта условиям возделывания и их изменениям (по V.O. Shcherbinina, 2021).

Fig. 4. Plasticity index ( $b_i$ )\* of hemp cultivars' plant seed productivity

\*( $b_i$ )>1 – cultivar is responsive to cultivation conditions; ( $b_i$ )<1 – cultivar's response to environmental changes is weaker compared to other genotypes; ( $b_i$ )=1 – cultivar fully complies with cultivation conditions and their changes (according to V.O. Shcherbinina, 2021).

**Таблица 3. Значения показателей BLUP, WAASB, WAASBY**

**Table 3. BLUP, WAASB, and WAASBY indicator values**

Сорт/ Cultivar	Среднее значение Y/ Y_mean*	BLUP*	WAASB*	WAASBY*	Ранг_BLUP/ Rank_BLUP*	Ранг_WAASB/ Rank WAASB*	Ранг_WAASBY/ Rank WAASBY*
‘Сурская’	521,6/ 1523,4	-45,7/ -288,8	19,7/ 13,4	52,7/ 55,8	2/4	1/1	1/1
‘Людмила’	496,6/ 2128,1	-147,9/ 255,5	29,2/ 46,3	36,3/ 37,9	4/2	2/4	2/3
‘Вера’	944,38/ 2356,2	265,6/ 478,7	54,4/ 44,9	50,0/ 52,1	1/1	4/3	4/2
‘Надежда’	521,6/ 1413,8	-72,0/ -445,3	33,0/ 27,6	33,5/ 28,4	3/3	3/2	3/4

\* – анализ урожайности семян/ анализ урожайности соломы/ – seed yield analysis/ straw yield analysis

Многофакторный анализ продуктивности сортов конопли выявил достоверность различий между влиянием генотипа, влиянием окружающей среды и взаимодействием этих факторов. Доля влияния фактора «регион возделывания» на величину урожая семян конопли максимальна (до 56,7%). На долю влияния фактора «сорт» приходится не более 28%. В то же время взаимодействие факторов «сорт» и «регион возделывания» обуславливают изменчивость урожайности на 14,8%, что может позволить в дальнейшем повысить урожайность сортов конопли за счет их адаптивного потенциала.

На основании полученных данных определено, что сорта конопли посевной, созданные в среднем Поволжье, в агроклиматических условиях Западной части Центрального региона, демонстрируют высокие потенциальные возможности по высоте растения (до 191 см), технической длине стебля (до 162 см) и длине соцветия (до 45 см). Более того, хозяйственно ценные признаки с широким диапазоном проявили более высокий коэффициент вариации, что указывает на возможность отбора генотипов с широким адаптивным потенциалом. Сорт ‘Вера’ обладает высокой специфической адаптивностью к благоприятным условиям, а сорт ‘Сурская’ – высокой стабильностью. Выявление высокопродуктивных и пластичных сортов имеет основополагающее значение для селекции растений. О важности приспособляемости сортов к окружающим условиям и различное поведение генотипов в различных агроклиматических условиях отмечали в своих трудах Н.И. Вавилов (Vavilov, 1966) и В.С. Пустовойт (Pustovoit, 1966). Полученные нами результаты позволили еще раз подчеркнуть перспективность изучения новых сортов конопли в различных природно-климатических условиях РФ.

### Заклучение

Изменение хозяйственно ценных признаков конопли посевной характеризуется разной амплитудой варьирования в зависимости от условий тепло- и влагообеспеченности региона возделывания. Выбор региона возде-

лывания необходимо проводить на основе оценки изменчивости в первую очередь генеративных признаков, что в свою очередь демонстрирует степень адаптивности сортов к условиям среды.

В условиях Западной части Центрального региона изменчивость показателей хозяйственно ценных признаков по сравнению со Средним Поволжьем выше, находилась в пределах от 5,4% до 16,2% по высоте растения, от 2,3% до 13,9% по технической длине и от 5,7% до 23,9% по диаметру стебля. Хозяйственно ценные признаки, характеризующие генеративную структуру, оказались более изменчивы, чем вегетативные: максимальный уровень изменчивости отмечен в Пензенской области – по массе семян с растения (46%), в Смоленской области – по длине метелки (38,5%) и массе семян с растения (63,9%). Установлено, что сорт ‘Вера’ отличается высокой пластичностью ( $b_1 = 1,4$ ) и имеет низкую стабильность (WAASB=54,4; WAASBY=50,0), а сорт ‘Сурская’, напротив, демонстрирует среднюю пластичность ( $b_1 = 0,9$ ) и высокую стабильность к разнообразным стрессовым факторам (WAASB=19,7; WAASBY=52,7). Комплексное применение математических методов для оценки стабильности и адаптивности позволит определить степень реализации потенциала сортов конопли в различных природно-климатических условиях, что послужит основой для результативной селекции новых адаптивных сортов конопли в связи с глобальными изменениями климата.

### References/Литература

- Abdollahi M., Sefidkon F., Calagari M., Mousavi A., Mahomoodally M.F. A comparative study of seed yield and oil composition of four cultivars of hemp (*Cannabis sativa* L.) grown from three regions in northern Iran. *Industrial Crops and Products*. 2020;152:112397. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112397
- Alsaleh A., Yilmaz G. Exploring cannabidiol variations, investigation of genetic diversity, population structure and unveiling male-specific genetic marker in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2025;72:797-814. DOI: 10.1007/s10722-024-02015-1
- Amarasinghe P., Pierre C., Moussavi M., Geremew A., Woldesenbet S., Weerasooriya A. The morphological and anatomical variability of the stems of an industrial hemp collection and the properties of its

- fibres. *Heliyon*. 2022;8(4):e09276. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09276
- Anwar F., Latif S., Ashraf M. Analytical characterization of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil from different agro-ecological zones of Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2006;83:323-329. DOI: 10.1007/s11746-006-1207-x
- Babaei M., Nemati H., Arouiee H., Torkamaneh D. Characterization of indigenous populations of cannabis in Iran: a morphological and phenological study. *BMC Plant Biology*. 2024;24(151):1-21. DOI: 10.1186/s12870-024-04841-y
- Bedak G.R. (comp.). Guidelines for conducting field and vegetative experiments with hemp (Metodicheskie ukazaniia po provedeniiu polevykh i vegetatsionnykh opytov s konoplyoi). Moscow: VASKHNIL; 1980. [in Russian] (Методические указания по проведению полевых и вегетационных опытов с коноплей / сост. Г.Р. Бедак. Москва: ВАСХНИЛ; 1980).
- Chaisan T., Thobunluerop P., Thongthip N., Rakpenthai A., Puangsin B., Samipak S., Pluemanupat W. Identification of morphological traits affecting high seed yield potential from new hemp germplasm collected in Thailand. *Chilean journal of agricultural research*. 2025;85(1):88-97. DOI: 10.4067/S0718-58392025000100088
- CRAN. The R Project for Statistical Computing. Available from: <https://www.r-project.org/> [accessed Sept. 17, 2025].
- Dospikhov B.A. Methodology of field trial with fundamentals of statistical processing of research results (Metodika polevogo opyta s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). Moscow; 2012. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. Москва; 2012).
- Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36-40. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
- Egorova N.N., Kardashevskaya V.E. The structure of the Variability of Morphological Features *Agrostis diluta* Kurcz. *Vestnik of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University*. 2016;6(56):5-15. [in Russian] (Егорова Н.Н., Кардашевская В.Е. Структура изменчивости морфологических признаков *Agrostis diluta* Kurcz. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова*. 2016;6(56):5-15).
- Hammami N., Privé J.-P., Moreau G. Spatiotemporal variability and sensitivity of industrial hemp cultivars under variable field conditions. *European Journal of Agronomy*. 2022;138:126549. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126549
- Krylova E.A., Chunikhina O.A., Boyko A.P., Miroshnichenko E.V., Khlestkina E.K., Burlyaeva M.O. Variability of morphological and phenological traits in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. accessions contrasting by growth type in different ecological and geographical conditions. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024;7(2):16-30. [in Russian] (Крылова Е.А., Чунихина О.А., Бойко А.П., Мирошниченко Е.В., Хлесткина Е.К., Бурляева М.О. Изменчивость морфологических и фенологических признаков среди контрастных по типу роста образцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. в разных эколого-географических условиях. *Биотехнология и селекция растений*. 2024;7(2):16-30). DOI: 10.30901/2658-6266-2024-2-07
- Mamaev S.A. Basic principles of the methodology for studying intraspecific variability of woody plants (Osnovnye printsipy metodiki issledovaniia vnutrividovoi izmenchivosti drevesnykh rastenii). In: *Individual and eco-geographical variability of plants = Individualnaia i ekologo-geograficheskaiia izmenchivost rastenii*. Sverdlovsk: Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences; 1975. p.3-14. [in Russian] (Мамаев С.А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений. В кн.: *Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений*. Свердловск: УНЦ АН СССР; 1975. С.3-14).
- Mostafaei Dehnavi M., Damerum A., Taheri S., Ebadi A., Panahi S., Hodgins G., Brandley B., Salami S.A., Taylor G. Population genomics of a natural *Cannabis sativa* L. collection from Iran identifies novel genetic loci for flowering time, morphology, sex and chemotyping. *BMC Plant Biology*. 2025;25(1):80. DOI: 10.1186/s12870-025-06045-4
- Olivoto T. Analyzing multi-environment trials using BLUP. 2023. Available from: [https://tiagoolivoto.github.io/metan/articles/vignettes\\_blup.html](https://tiagoolivoto.github.io/metan/articles/vignettes_blup.html) [accessed Nov. 17, 2025].
- Olivoto T., Lúcio A.D.C., metan: An R package for multi-environment trial analysis. *Methods in Ecology and Evolution*. 2020;11(6):783-789. DOI: 10.1111/2041-210X.13384
- Olivoto T., Lúcio A.D.C., Silva J.A.G., Sari B.G., Diel M.I. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agronomy Journal*. 2019;111(6):2961-2969. DOI: 10.2134/agronj2019.03.0221
- Pavlovic R., Panseri S., Giupponi L., Leoni V., Citti C., Cattaneo C., Cavaletto M., Giorgi A. Phytochemical and ecological analysis of two varieties of hemp (*Cannabis sativa* L.) grown in a mountain environment of Italian Alps. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1265. DOI: 10.3389/fpls.2019.01265
- Petit J., Salentijn E.M.J., Paulo M.-J., Thouminot C., van Dinter B.J., Magagnini G., Gusovius H.-J., Tang K., Amaducci S., Wang S., Uhrlaub B., Müssig J., Trindade L.M. Genetic variability of morphological, flowering, and biomass quality traits in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:102. DOI: 10.3389/fpls.2020.00102
- Pustovoit V.S. Selected Works (Izbrannye trudy). Moscow: Kolos; 1966. [in Russian] (Пустовойт В.С. Избранные труды. Москва: Колос; 1966).
- Selyaninov G.T. On agricultural climate assessment. (O sel'skokhozyaystvennoy otsenke klimata). *Works on agricultural meteorology = Trudy po sel'skokhozyaystvennoy meteorologii*. 1928;20:165-177. [in Russian] (Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата. *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928;20:165-177).
- Serkov V.A. Formation of a new initial material for the development of innovative directions of breeding hemp. *International agricultural journal*. 2022;(5)(389):517-520. [in Russian] (Серков В.А. Формирование нового исходного материала для разработки инновационных направлений селекции конопли посевной. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022;(5)(389):517-520). DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_5\_517
- Serkov V.A., Koshelyaev V.V., Davydova O.K. Characteristics of the main morphological features of the source material of non-narcotic monoecious hemp. *Niva Povolzhya*. 2024;(2)(70):1008. [in Russian] (Серков В.А., Кошеляев В.В., Давыдова О.К. Характеристика основных морфологических признаков исходного материала безнаркотической однодомной конопли посевной. *Нива Поволжья*. 2024;(2)(70):1008). DOI: 10.36461/NP.2024.70.2.013
- Serkov V.A., Zelenina O.N., Smirnov A.A., Pluzhnikova I.I., Salmikov S.V., Zelenin I.N. Cultivation of Central Russian monoecious hemp in the forest-steppe of the Middle Volga region: (Practical recommendations). Penza; 2011. [in Russian] (Серков В.А., Зеленина О.Н., Смирнов А.А., Плужникова И.И., Сальников С.В., Зеленин И.Н. Возделывание среднерусской однодомной конопли в лесостепи Среднего Поволжья: (Практические рекомендации). Пенза; 2011). URL: [https://www.cnsb.ru/Vexhib/volk/12\\_4754.pdf](https://www.cnsb.ru/Vexhib/volk/12_4754.pdf) [дата обращения: 01.11.2025]
- Shimanskaia N.S., Ivanova S.V., Bakulova I.V., Serkov V.A. Features of cultivation of hemp of the Central Russian ecotype in the conditions of the Western part of the Central region (Osobennosti vozdelvaniia konopli posevnoi Srednerusskogo ekotipa v usloviyakh Zapadnoi chasti Tsentral'nogo regiona). In: *Current Issues in the Biology, Breeding, and Agricultural Engineering of Garden Crops: a collection of papers from the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician G.I. Tarakanov (Aktual'nyye voprosy biologii, seleksii i agrotekhniki sadovykh kul'tur: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika G.I. Tarakanova)*; 2023 October 31; Moscow, Russia. Moscow: RGAU-MSKHA im. K.A. Timiriazeva; 2023. p.73-76. [in Russian] (Шиманская Н.С., Иванова С.В., Бакулова И.В., Серков В.А. Особенности возделывания конопли посевной Среднерусского экотипа в условиях Западной части Центрального региона РФ. В кн.: *Актуальные вопросы биологии, селекции и агротехники садовых культур: сборник*

- трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.И. Тараканова; 31 октября 2023 г.; Москва, Россия. Москва: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 2023. С.73-76). URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_65599700\\_32487313.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_65599700_32487313.pdf) [дата обращения: 17.09.2025]
- Shimanskaya N.S., Ivanova S.V., Serkov V.A., Uschapovsky I.V. Influence of agroecological conditions on the formation of economically valuable traits of hemp. In: *Genetic and Radiation Technologies in Agriculture: Proceedings of the 3rd International Young Scientists Conference; 2024 October 23–24; Obninsk, Russia*. Obninsk: NRC «Kurchatov Institute» – RIRAE; 2024. p.292-295. [in Russian] (Шиманская Н.С., Иванова С.В., Серков В.А., Ущеповский И.В. Влияние агроэкологических условий на формирование хозяйственно-ценных признаков конопли посевной. В кн.: *Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов III международной молодежной конференции; 23–24 октября 2024 г.; Обнинск, Россия*. Обнинск: НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ; 2024. С.292-295). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=81280501> [дата обращения: 17.09.2025]
- Sraka M., Škevin D., Obranović M., Butorac J., Magdić I. Agroecological conditions of industrial hemp production in the western Pannonian agricultural subregion and fatty acids composition of hemp seed oil. *Journal of Central European Agriculture*. 2019;20(3):809-822. [in Croatian]. DOI: 10.5513/JCEA01/20.3.2529
- State Register = GOST R 54650-2011. Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds using the Kirsanov method as modified by the Central Institute of Agrochemistry (CINAO). Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Москва: Стандартинформ; 2019).
- State Register = GOST 26213-2021. Soils. Methods for determining organic matter. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021. [in Russian] (ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. Москва: Российский институт стандартизации; 2021).
- Trubanová N., Isobe S., Shirasawa K., Watanabe A. Genome-specific association study (GSAS) for exploration of variability in hemp (*Cannabis sativa*). *Scientific Reports*. 2025;15(1):8371. DOI: 10.1038/s41598-025-92168-5
- Trubanová N., Pender G., McCabe P.F., Melzer R., Schilling S. Exploring phenotypic and genetic variability in hemp (*Cannabis sativa*). *bioRxiv. The Preprint Server for Biology*. 2023. DOI: 10.1101/2023.11.01.565084
- Tsaliki E., Kalivas A., Jankauskiene Z., Irakli M., Cook C., Grigoriadis I., Panoras I., Vasilakoglou I., Dhima K. Fibre and seed productivity of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties under Mediterranean conditions. *Agronomy*. 2021;11(1):171. DOI: 10.3390/agronomy11010171
- Uschapovsky I.V., Novikov E.V., Basova N.V., Bezbabchenko A.V., Galkin A.V. System problems of flax growing in Russia and abroad, the possibilities of their solution. *Dairy Herald*. 2017;1(25):166-186. [in Russian] (Ущеповский И.В., Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В., Галкин А.В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения. *Молочнохозяйственный вестник*. 2017;1(25):166-186).
- Vasilkova T.M., Makovetsky V.V., Maksimov M.M. Handbook of economics and management in the agro-industrial complex. Moscow: ICC Kolos-s; 2022. [in Russian] (Василькова Т.М., Маковецкий В.В., Максимов М.М. Справочник по экономике и управлению в АПК. Москва: ИКЦ Колос-с; 2022).
- Vavilov N.I. Selected Works (Izbrannye sochineniya). Moscow: Kolos; 1966. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные сочинения. Москва: Колос; 1966).
- Vonapartis E., Aubin M.P., Seguin P., Mustafa A.F., Charron J.B. Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015;39:8-12. DOI: 10.1016/j.jfca.2014.11.004
- Younas M., Qureshi R., van Velzen R., Mashwani Z.U.R., Saqib Z., Ali A., Rehman S., Farah M.A., Al-Anazi K.M. Geo-climatic factors co-drive the phenotypic diversity of wild hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Potohar Plateau and Lesser Himalayas. *BMC Plant Biology*. 2024;24(1031):1-15. DOI: 10.1186/s12870-024-05730-0
- Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Nedorezkov V.D., Ismagilov R.R., Kadikov R.K., Islamgulov D.R. Methodology for calculating and assessing the parameters of ecological plasticity of agricultural plants. Ufa; 2015. [in Russian] (Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Недорезков В.Д., Исмагилов Р.Р., Кадиков Р.К., Исламгулов Д.Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа; 2015).

### Информация об авторах

- Игорь Валентинович Ущеповский**, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе, Федеральный научный центр лубяных культур; 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, [i.uschapovsky@fncl.ru](mailto:i.uschapovsky@fncl.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>
- Наталья Сергеевна Шиманская**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, Федеральный научный центр лубяных культур, 170041 Россия, Тверь, Комсомольский пр., 17/56, [n.shimanskaya@fncl.ru](mailto:n.shimanskaya@fncl.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5819-1351>
- Валерий Александрович Серков**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, лаборатория селекционных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур, 442731 Россия, Пензенская обл., р.п. Лунино, ул. Мичурина, 1 Б, [v.serkov.pnz@fncl.ru](mailto:v.serkov.pnz@fncl.ru), <http://orcid.org/0000-0001-8308-4200>
- Светлана Васильевна Иванова**, младший научный сотрудник, лаборатория селекционных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур, 214025 Россия, Смоленск, ул. Нахимова, 21, [s.ivanova.sml@fncl.ru](mailto:s.ivanova.sml@fncl.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8932-7023>

### Information about the authors

- Igor V. Uschapovsky**, Cand. Sci. (Biology), Deputy Director for Research, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky Avenue, Tver, 170041 Russia, [i.uschapovsky@fncl.ru](mailto:i.uschapovsky@fncl.ru); <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>
- Natalya S. Shimanskaya**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky Avenue, Tver, 170041 Russia, [n.shimanskaya@fncl.ru](mailto:n.shimanskaya@fncl.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5819-1351>
- Valerian A. Serkov**, Dr. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, 1 B, Michurina Street, Lunino Workers' Settlement, Penza Region, 442731 Russia, [v.serkov.pnz@fncl.ru](mailto:v.serkov.pnz@fncl.ru); <http://orcid.org/0000-0001-8308-4200>
- Svetlana V. Ivanova**, Junior Researcher, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, 21, Nakhimov Street, Smolensk, 214025 Russia, [s.ivanova.sml@fncl.ru](mailto:s.ivanova.sml@fncl.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8932-7023>

---

**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 conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 19.09.2025; одобрена после рецензирования 26.11.2025; принята к публикации 20.12.2025.

The article was submitted on 19.09.2025; approved after reviewing on 26.11.2025; accepted for publication on 20.12.2025.

Научная статья

УДК 636.085.52:636.085.3

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013



## Урожайность и качество силоса диплоидного сорта «Радуга» и тетраплоидного сорта «Тетрасил» в зависимости от способа их консервации

Э. Б. Хатефов<sup>1</sup>, А. В. Ерохина<sup>2</sup>, Е. А. Жук<sup>3</sup>, С. А. Зайцев<sup>4</sup>, Ю. А. Керв<sup>1</sup>, И. А. Кибкало<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

<sup>3</sup> ООО «Агро Эксперт Групп», Москва, Россия

<sup>4</sup> ООО «Русид», Саратов, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Эдуард Балилович Хатефов, haed1967@rambler.ru

**Актуальность.** В мировой практике гибридной селекции кукурузы используются только сорта и гибриды с диплоидным (2n) геномом. Впервые проведены исследования урожайности листостебельной массы и качества силоса тетраплоидной (4n) кукурузы в сравнении с диплоидной кукурузой. **Материалы и методы.** Для анализа использовали силосы из листостебельной массы диплоидного сорта кукурузы 'Радуга' и тетраплоидного сорта 'Тетрасил' восковой спелости с применением консервантов AiBi® Lb 15.10 F и BIO-SIL. В качестве контроля использовали силос диплоидной и тетраплоидной кукурузы без внесения консервантов. Качество силоса определяли на 14-е, 30-е и 60-е сутки в трехкратной повторности. Фенотипирование образцов диплоидной и тетраплоидной кукурузы проводили в России в агроклиматических условиях г. Саратова (51°32' с.ш.) и г. Прохладный (43°45' с.ш.) в 2022-2023 годах. **Результаты.** Растения тетраплоидной кукурузы достоверно отличаются от диплоидной по урожайности листостебельной массы с початками в 2,4 раза, по содержанию сухого вещества в 2 раза, повышенным содержанием белка в зерне. Силос диплоидной кукурузы на 60-е сутки силосования уступает силосу тетраплоидной кукурузы по содержанию безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) и кислотности, но имеет преимущество по содержанию протеина, жира, золы и клетчатки. Использованные биоконсерванты AiBi 15.10 F и BIO-SIL значительно изменяют качественные показатели на 30-е и 60-е сутки консервации по всем компонентам в силосах диплоидной и тетраплоидной кукурузы. Сорт 'Тетрасил' не вызревает на зерно в условиях северной зоны, что ограничивает его использование в этой зоне только для получения силоса. **Обсуждение.** Возможно, что эти различия между двумя сортами обусловлены более поздней группой спелости, либо высоким содержанием амилопектинового крахмала в зерне сорта 'Тетрасил' в сравнении с сортом 'Радуга', который лучше приспособлен к агроклиматическим условиям Саратовской области и содержит меньше амилопектина, чем сорт 'Тетрасил'.

**Заключение.** Сорт 'Тетрасил' имеет преимущества перед сортом 'Радуга' по урожайности зеленой массы при возделывании в агроклиматических условиях Саратовской области и некоторым качественным показателям силоса с использованием консервантов и без них. Силос, получаемый из тетраплоидной кукурузы, характеризуется высоким качеством и не уступает по этому показателю силосу из диплоидной кукурузы.

**Ключевые слова:** кукуруза, тетраплоид, диплоид, качество силоса, консерванты AIBI® LB 15.10 F и BIO-SIL, урожай зерна

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Госзадания № FGEM-2023-0003 «Создание при помощи методов биотехнологии новых селекционных форм кукурузы».

**Для цитирования:** Хатефов Э.Б., Ерохина А.В., Жук Е.А., Зайцев С.А., Керв Ю.А., Кибкало И.А. Урожайность и качество силоса диплоидного сорта «Радуга» и тетраплоидного сорта «Тетрасил» в зависимости от способа их консервации. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):68-79. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013

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.

© Хатефов Э.Б., Ерохина А.В., Жук Е.А., Зайцев С.А., Керв Ю.А., Кибкало И.А., 2025

## Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013

## Yield and quality of silage of diploid variety “Raduga” and tetraploid variety “Tetrasil” depending on the method of their preservation

Eduard B. Khatefov<sup>1</sup>, Anna V. Erokhina<sup>2</sup>, Ekaterina A. Zhuk<sup>3</sup>, Sergei A. Zaitsev<sup>4</sup>, Yulia A. Kerv<sup>1</sup>, Ilya A. Kibkalo<sup>1</sup><sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia<sup>3</sup> Agro Expert Group, LLC, Moscow, Russia<sup>4</sup> RUSID, LLC, Saratov, Russia**Corresponding author:** Eduard B. Khatefov, haed1967@rambler.ru

**Background.** In global hybrid corn breeding, only cultivars and hybrids with a diploid (2n) genome are used. The present research for the first time compared the yield of leaf and stem mass and silage quality of tetraploid (4n) corn with those of diploid corn. **Materials and Methods.** Silages from the leaf-stem mass of the diploid corn cultivar ‘Raduga’ and tetraploid cultivar ‘Tetrasil’ of waxy maturity, treated with AiBi® Lb 15.10 F and BIO-SIL preservatives, have been analyzed. Silage from diploid and tetraploid corn without preservatives served as a control. Silage quality was determined on days 14, 30, and 60 in triplicate. Phenotyping of diploid and tetraploid corn accessions was conducted under agroclimatic conditions of Saratov city at 51°32’ N and Prokhladny town at 43°45’ N in Russia in 2022/2023. **Results.** Tetraploid corn plants significantly differ from those of diploid corn in leaf and stem yield (2.4 times higher), dry matter content (2 times), and grain protein content. After 60 days of ensiling, silage from diploid corn is inferior to that from tetraploid corn in terms of Nitrogen-free extractives (NFES) content and acidity (pH), but has superior protein, fat, ash, and fiber content. The biopreservatives AiBi 15.10 F and BIO-SIL used in the experimental variants significantly improved the quality indicators after 30 and 60 days of ensiling for all components in diploid and tetraploid corn silages. Cv. ‘Tetrasil’ does not yield mature grain in northern climates, therefore its use in this zone is limited to silage production. **Discussion.** It is possible that these differences between the two cultivars are due to a later maturity group or a higher amylopectin starch content in the grain of cv. ‘Tetrasil’ cultivar compared to that of cv. ‘Raduga’, which is better adapted to the agroclimatic conditions of the Saratov Region and contains less amylopectin than ‘Tetrasil’. **Conclusions.** Cv. ‘Tetrasil’ has advantages over cv. ‘Raduga’ in terms of green mass yield when grown in the agroclimatic conditions of the Saratov Region, and in some quality indicators of silage with and without the use of preservatives. Tetraploid corn produces high-quality silage similar in quality to that produced from diploid corn.

**Keywords:** corn, tetraploid, diploid, silage quality, preservatives AiBi® Lb 15.10 F and BIO-SIL, grain yield

**Acknowledgements:** This research was financially supported by the State Assignments No. FGEM-2023-0003 “Developing new breeding forms of maize with biotechnology methods” for the period 2023-2025.

**For citation:** Khatefov E.B., Erokhina A.V., Zhuk E.A., Zaitsev S.A., Kerv Yu.A., Kibkalo I.A. “Yield and quality of silage of diploid variety “Raduga” and tetraploid variety “Tetrasil” depending on the method of their preservation”. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):68-79. (in Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-013

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.

© Khatefov E.B., Erokhina A.V., Zhuk E.A., Zaitsev S.A., Kerv Yu.A., Kibkalo I.A., 2025

## Введение

Кукурузный силос – один из важнейших компонентов полноценного рациона крупного рогатого скота, который благодаря удобству хранения и высокой концентрации питательных веществ включается в состав общих смешанных рационов для мясного скота (Kirkland et al., 2005; Ericsson, Nilsson, 2006; Phipps et al., 2000). Включение кукурузного силоса в рацион молочных коров увеличивает потребление клетчатки и других питательных веществ, и, соответственно, удой и содержание молочного белка (Phipps et al., 2000; Keady et al., 2008; Kliem et al., 2008). В результате за последние несколько десятилетий выращивание кукурузы на силос значительно возросло во многих частях мира, и, наряду с сенажом, кукурузный силос стал основным кормовым ингредиентом в рационе молочных коров при большинстве режимов кормления (Khan et al., 2012). Не все существующие сорта и гибриды кукурузы дают силос хорошего качества, поскольку кукуруза выращивается до 55 параллели северной широты; это вынуждает селекционеров вносить коррективы в селекционные программы в зависимости от группы спелости и уборочной влажности зерна (Coulter, 2021). Поэтому не все выращенные сорта и гибриды дают силос, соответствующий по качеству требованиям потребителей.

Установлено, что высокая влажность силосной массы провоцирует неправильное, кластриальное брожение и потерю части питательных веществ с избыточной влажностью, тогда как низкая влажность силосной массы провоцирует развитие в ней анаэробной микрофлоры и самосогревание (Muck, Kung, 2007). Все эти факторы в конечном итоге могут значительно снизить питательную ценность силоса либо полностью его испортить. Многие селекционные программы направлены на создание гибридов и сортов кукурузы разных групп спелости с ускоренной влагоотдачей зерна при созревании, адаптированных к северным широтам (Dahlen, Meehan, 2018), поскольку качество ферментации силоса зависит в первую очередь от уборочной влажности гибридов кукурузы (Muck, Kung, 2007).

Тетраплоидная кукуруза была впервые создана Рэндольфом в 1930-х годах (Randolph, 1935), но не получила широкого распространения из-за низкой семенной продуктивности початка (Sockness, Dudley, 1989). Для преодоления этого недостатка тетраплоидной кукурузы были разработаны цитологические методы селекции с отбором на преимущественную бивалентную конъюгацию гомологичных хромосом в мейозе (Khatfov, 2012), что позволило довести продуктивность тетраплоидной кукурузы до уровня диплоидных. Созданный на основе многолетнего селекционного отбора тетраплоидный сорт кукурузы ‘Тетрасил’ показал высокую зерновую продуктивность, большую вегетативную массу и другие качественные признаки, связанные с его универсальным использованием в качестве источника зерна и силоса (Khatfov, 2012).

Цель исследования – сравнительный анализ урожайности и качественных показателей силоса, полученного из диплоидной и тетраплоидной кукурузы при различных способах его консервации.

## Материалы и методы

Материалом исследования послужили образцы кукурузы диплоидной синтетической популяции ‘Радуга’ и гибрида Кавказ 412СВ, характеризующиеся высокой урожайностью силосной массы, а также тетраплоидного сорта ‘Тетрасил’ с высокой долей (86,6%) амилопектина в крахмале. Все исследованные образцы относились к подвиду зубовидной кукурузы (*Z. mays* ssp. *indentata* Start.). Испытания и фенотипическая оценка признаков сорта ‘Тетрасил’ (2n=40) проводились в оптимальных для созревания зерна агроклиматических условиях юга России, в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики, расположенной на участке с координатами 43°45’00” с. ш. и 44°02’00” в. д., где в качестве стандарта использовался диплоидный гибрид Кавказ 412СВ (2n=20), относящийся к той же группе спелости, что и сорт ‘Тетрасил’. Сорт ‘Тетрасил’ испытывался на силос в сравнении с популяцией силосного назначения ‘Радуга’ (2n=20) в северной зоне посева кукурузы, в г. Саратове, расположенном на участке с координатами 51°32’00” с. ш. и 46°00’00” в. д.

Агроклиматические условия Саратовской области характеризуются как умеренно-континентальные. Гидротермический коэффициент (ГТК) изменяется в пределах 1,20–1,45 во влажные годы, 0,70–0,95 в нормальные и 0,60–0,68 в засушливые. Среднегодовое количество осадков составляет 360–455 мм. Почва опытного участка – чернозём южный малогумусный, среднесильный, тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое по Тюрину (GOST 26213-2021..., 2021) составляет 3,80–4,60%, валового азота – 0,17–0,22%, валового фосфора – 0,11–0,14%, калия – 1,10–1,38%. Плотность почвы составляет 1,20–1,32 г/см<sup>3</sup>, наименьшая влагоёмкость (НВ) – 101,1 мм в слое 0–30 см и 295,6 мм в слое 0–100 см. Почвы преимущественно слабощелочные (рН =7,5). Климат зоны характеризуется суммой активных температур 2400–3100°C. Вегетационный период в Саратове длится 127–150 дней.

Агроклиматические условия степной зоны Кабардино-Балкарской Республики представлены лугово-чернозёмами. Содержание гумуса в пахотном слое не превышает 2,64%, реакция почвенного раствора по всему профилю среднещелочная (рН=8,1), со средней ёмкостью поглощения в пахотном слое (32 мг/экв на 100 г почвы), которая постепенно уменьшается с глубиной пахотного слоя. Содержание карбонатов в пахотном горизонте варьирует от среднего (6,7%) на поверхности до высокого (13,6–14,7%) в глубине. Обеспеченность почв подвижным фосфором очень низкая (0,4 мг/100 г почвы), а обменным калием – очень высокая (8 г/100 г). Климат данной зоны характеризуется как умеренно жаркий с суммой активных

температур 3000-3200°C и умеренной влажностью (коэффициент увлажнения 0,5-0,9), гидротермический коэффициент (ГТК) 0,9-1,2. Продолжительность вегетационного периода в г. Прохладный составляет 206 дней.

Диплоидные и тетраплоидные образцы кукурузы высевали при стабильной температуре почвы (10-12°C) на стандартных двухрядных делянках (площадь делянки 9,8 м<sup>2</sup>, количество растений на делянке – 34-35. Между рядами составляли 70 см. Густота стояния растений составила 60,2 тыс. раст./га). Учет морфометрических показателей, элементов структуры урожая и других характеристик проводили по известным методикам (Shmaraev, 1985; Dospekhov, 2011). Опыты по силосованию кукурузы проводили при созревании кукурузы до фазы восковой спелости. Для силосования брали 10 типичных растений с середины делянки, срез стебля производили на высоте 35-40 см от поверхности почвы. Растения измельчали при средней влажности растений 60-70% на фрагменты размером 10-20 мм. Опытные партии силоса закладывали в лабораторных стеклянные банки, в трехкратной повторности. Каждая партия была разделена на три группы: 1) без консервантов; 2) с биоконсервантом «AiBi®» серии «Lb 15.10 F») с биоконсервантом БИО-СИЛ. Силосную массу изолировали бумажным фильтром, заливали парафином и закрывали крышкой. Силос хранили при температуре 18-20°C в анаэробных условиях. По достижении сроков исследования готового силоса стеклянные банки вскрывали и проводили химический анализ. Содержание сырого протеина определяли по Кьельдалю умножением общего азота на коэффициент 6,25 (для кукурузы) по ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005) (GOST 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005)..., 2014), где проводили озоление органического вещества серной кислотой в присутствии катализатора, затем проводится подщелачивание, отгонка и титрование аммиака. Массовая доля сырого протеина вычисляется умножением массовой доли азота на коэффициент пересчета 6,25. Содержание сырого жира определяли экстракционным методом Сокслета путем экстрагирования жиров органическим растворителем (диэтиловым эфиром) по ГОСТ 13496.15-2016 (GOST 13496.15-2016..., 2020), который основан на многократной экстракции жира из навески корма диэтиловым эфиром в аппарате Сокслета в течение 5-8 часов (до 10-12 часов для жирных проб). Экстракт испаряют, остаток сушат при 105°C до постоянной массы и взвешивают, вычисляя процентное содержание. Содержание общего крахмала определяли по ГОСТ ISO 15914-2016 (GOST ISO 15914-2016..., 2017) с использованием ферментов для гидролиза крахмала до глюкозы и определением значения гексокиназным методом. Качество силоса определяли через 30, 60 и 90 суток хранения в трехкратной повторности. Определение качества силоса проводили согласно нормативному документу по стандартизации силоса ГОСТ Р 55986-2022: силос и силаж, общие технические условия (GOST R 55986-2022..., 2022).

**Биоконсервант «AiBi®» серии «Lb 15.10 F» про-**

изводится группой компаний «Союзснаб», Россия, г. Красногорск. Содержание: 3×10<sup>11</sup> КОЭ/г (*Lactobacillus plantarum* DSM 8862(1) и *Lactobacillus plantarum* DSM 8866), дополнительно содержит *Lactobacillus plantarum*, *Propionibacterium shermanii*, *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus diolivorans*, комплекс ферментов (амилаза, целлюлаза, глюканаза, ксилаза). Биоконсервант «AiBi®» серии «Lb 15.10 F» вносили в измельченную силосную массу при влажности 55-65%. Дозировка вносимого количества биоконсерванта составляла 0,5 г препарата (с активностью не менее 5×10<sup>10</sup> КОЕ) на одну тонну силосованного сырья. После внесения консерванта массу укладывали в банки и утрамбовывали для обеспечения оптимальных анаэробных условий развития молочнокислых бактерий.

**Биоконсервант БИО-СИЛ** производства компании «Пульстар» (Республика Беларусь) совместно с «Dr. Pieper Technologie und Produktentwicklung GmbH» (Германия) и эксклюзивным представителем ООО «Альбит» (Россия), ОАО ПНП «Укрзоветпромснаб» (Украина), ГП «МНТЦ «Агробиотех» НАН и МОН (Украина). Биоконсервант БИО-СИЛ производства Dr. PIEPER вносили в скошенную силосную массу при влажности 55-65% из расчета 0,5 г препарата (с активностью не менее 3,5×10<sup>11</sup> КОЕ, состоящего из штаммов *Lactobacillus plantarum* DSM 8862 и *Lactobacillus plantarum* DSM 8866) на одну тонну силосованного сырья. После внесения препарата массу, предварительно консервированную, помещали в банки и утрамбовывали для обеспечения оптимальных анаэробных условий развития молочнокислых бактерий.

Достоверность различий вариантов опыта была проверена методом дисперсионного анализа (ANOVA) на уровне значимости 5%.

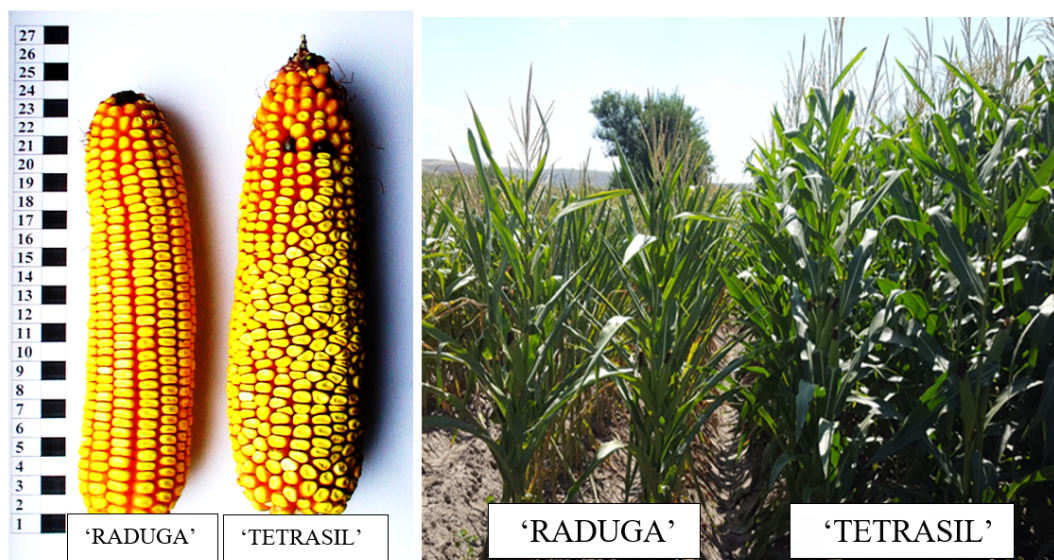
## Результаты

Сравнительный анализ морфологических признаков диплоидной и тетраплоидной кукурузы показал, что тетраплоидная кукуруза имеет существенные отличия от диплоидной по ряду таких признаков, как: более мощная архитектура растений, большая площадь листьев, более толстый стебель и початок. Зерно и зародыш тетраплоидной кукурузы характеризуются более крупными размерами, массой початка и весом 1000 зерен. Листья тетраплоидных форм кожистые, очень широкие и более темной окраски, чем у диплоидных (рис. 1, рис. 2).

При возделывании кукурузы на силос большое значение имеет такой технологически важный признак, как высота растения и высота прикрепления хозяйственно рентабельного початка. У тетраплоидной кукурузы высота растения имела несколько более низкие значения, но высота прикрепления початка характеризовалась высоким расположением относительно обоих стандартов (табл. 1). Размеры листовой пластинки и початка, масса 1000 зерен также характеризуются превышением значе-

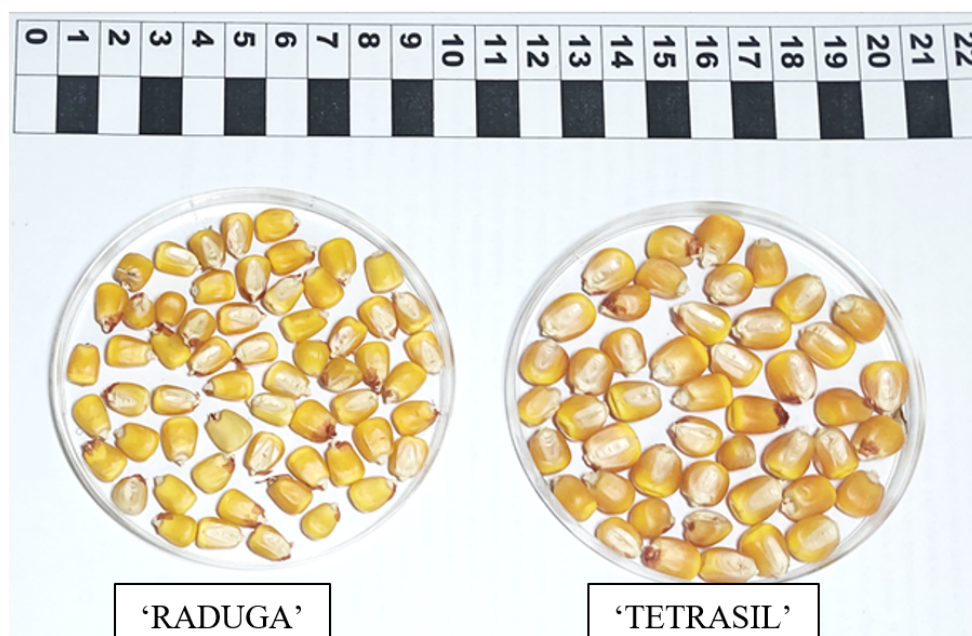
ний над диплоидным стандартом. Все эти отличительные признаки в совокупности делают тетраплоидную кукурузу привлекательной для силосования, поскольку по

общей листостебельной массе она превосходит диплоидную кукурузу.



**Рис. 1.** Початки и растения тетраплоидного сорта кукурузы ‘Тетрасил’ (справа) и диплоидного сорта ‘Радуга’ (слева), полученные в агроклиматических условиях Саратовской области

**Fig. 1.** Cobs and plants of the tetraploid corn cultivar ‘Tetrasil’ (right) and diploid cultivar ‘Raduga’ (left), obtained in the agroclimatic conditions of the Saratov Region



**Рис. 2.** Размеры семян кукурузы диплоидного сорта ‘Радуга’ и тетраплоидного сорта ‘Тетрасил’

**Fig. 2.** Seed size of the diploid corn cultivar ‘Raduga’ and tetraploid cultivar ‘Tetrasil’

**Таблица 1. Характеристики фенотипа и их значения у диплоидной и тетраплоидной кукурузы в условиях Саратовской области (г. Саратов) и Кабардино-Балкарии (г. Прохладный), 2022-2023**

**Table 1. Phenotype characteristics and their values in diploid and tetraploid corn in the Saratov Region (Saratov city) and Kabardino-Balkaria (Prokhladny town), 2022-2023**

Показатели/ Indicators	Образец кукурузы/ Corn accession			
	г. Саратов/ Saratov city		г. Прохладный/ Prokhladny town	
	‘Радуга’/ ‘Raduga’	‘Тетрасил’/* ‘Tetrasil’	Кавказ 412CB/ Kavkaz 412SV	‘Тетрасил’/ ‘Tetrasil’
Группа спелости по ФАО	300	460	480	460
Высота растений (см)	215,2 <sup>a*</sup>	262,11 <sup>b</sup>	227,14 <sup>b</sup>	241,21 <sup>a</sup>
Высота расположения початка	74,7 <sup>a</sup>	122,04 <sup>b</sup>	94,42 <sup>b</sup>	110,18 <sup>c</sup>
Длина листа (см)	87,70 <sup>a</sup>	101,3 <sup>a</sup>	90,42 <sup>b</sup>	81,14 <sup>b</sup>
Ширина листа (см)	8,52 <sup>a</sup>	10,07 <sup>c</sup>	9,43 <sup>b</sup>	13,15 <sup>b</sup>
Длина початка (см)	22,5 <sup>c</sup>	22,21 <sup>a</sup>	21,8 <sup>b</sup>	17,51 <sup>c</sup>
Диаметр початка (см)	4,1 <sup>a</sup>	4,7 <sup>c</sup>	4,3 <sup>b</sup>	5,1 <sup>c</sup>
Число зерен в рядке початка (шт.)	41,8 <sup>c</sup>	36,15 <sup>a</sup>	34,5 <sup>b</sup>	26,15 <sup>a</sup>
Число рядов зерен на початке (шт.)	16,3 <sup>a</sup>	15,08 <sup>a</sup>	17,5 <sup>c</sup>	19,14 <sup>b</sup>
Урожай зерна с растения (г)	90,8 <sup>a</sup>	202,58 <sup>c</sup>	603,75 <sup>c</sup>	207,71 <sup>b</sup>
Масса 1000 зерен (г)	257,10 <sup>a</sup>	371,61 <sup>a</sup>	321,06 <sup>b</sup>	415,00 <sup>c</sup>
Зерновая продуктивность початка (шт.)	82,71 <sup>b</sup>	55,81 <sup>a</sup>	88,84 <sup>c</sup>	59,05 <sup>b</sup>
Урожай зерна при 14% влажности зерна (т/га)	3,63 <sup>a</sup>	7,01 <sup>a</sup>	10,66 <sup>c</sup>	7,6 <sup>c</sup>

**Примечания:** \* ‘Тетрасил’ – сорт из-за позднеспелости к уборке достигал только восковой спелости в условиях Саратовской области  
\*\* одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически ( $p \leq 0,05$ )

**Notes:** \* ‘Tetrasil’, a late maturing cultivar, reached only the stage of wax ripeness in the Saratov Region

\*\* the same superscript letters for each indicator designate the values that do not differ statistically ( $p \leq 0,05$ )

Озерненность сорта ‘Тетрасил’ с урожайностью зерна 7,01 т/га (г. Саратов) и 7,6 т/га (г. Прохладный) находится в пределах 55,81% и 59,05% соответственно, что значительно ниже показателей озерненности початка диплоидных стандартов – гибрида Кавказ 412 СВ (88,85%) и популяции ‘Радуга’ (82,7%). Сорт ‘Тетрасил’ относится к одной группе спелости с гибридом Кавказ 412 СВ по классификации ФАО, но зерновая продуктивность на початке у тетраплоидного сорта ниже обоих стандартов на 36,9% (сорт ‘Радуга’) и на 29,8% (гибрид Кавказ 412 СВ).

Сорт кукурузы ‘Тетрасил’, выращенный в северной зоне, испытывался в сравнении с сортом ‘Радуга’, адаптированным и созревшим на зерно в агроклиматических условиях Саратовской области и используемый для силосования в местных животноводческих хозяйствах. В тех же климатических условиях сорт ‘Тетрасил’ созревал только до восковой спелости и редко достигал уборочной влажности зерна до наступления заморозков. По показателям урожайности зелёной массы, содержания сухого вещества в ней и биохимического состава спелого зерна сорт ‘Тетрасил’ значительно превосходит диплоидную популяцию ‘Радуга’ (табл. 2). Содержание крахмала и жира у тетраплоидного и диплоидного сортов было одинаково, а по содержанию белка диплоидный сорт уступал тетраплоидному. По урожайности зелёной массы с початками, початков восковой спелости и сухого вещества сорт ‘Тетрасил’ на 34,3 т/га, 18,47 т/га и 11,25 т/га соответственно превосходил сорт ‘Радуга’.

Анализ качества силоса тетраплоидной и диплоидной кукурузы не зависимо от вида консерванта выявил приятный силосный запах, насыщенный оливковый цвет силосной массы, рассыпчатую, нелипкую консистенцию по органолептическим показателям. Степень активной кислотности силосованной массы, независимо от используемого консерванта и плоидности кукурузы, находилась в пределах рекомендуемого ГОСТ Р 55986-2022 (ГОСТ R 55986-2022..., 2022) диапазона pH – от 4,05 до 4,4 (табл. 3).

На 60-е сутки силос из сорта ‘Тетрасил’ имел более высокие значения pH, чем силос из сорта ‘Радуга’ при всех способах обработки, и при самоконсервации более высокие сумму кислот и содержание молочной кислоты в силосной массе.

В ходе эксперимента выявлена зависимость накопления органических кислот (молочной и уксусной) от применяемых консервантов в разные сроки силосования. Накопления масляной кислоты не выявлено ни в одном из вариантов, что характерно для силоса первого класса по ГОСТ Р 55986-2022 (ГОСТ R 55986-2022..., 2022). В силосе из тетраплоидной кукурузы сумма органических кислот была на 0,38% выше на 60-е сутки в варианте без консервирования, чем на 14-е сутки. Консервант AiBi 15.10 F показал прибавку суммы органических кислот на 0,36%, а с BIO-SIL до 0,11% с 14-х по 60-е сутки.

Следовательно, эти консерванты вносят меньший вклад в общее накопление органических кислот, чем при

**Таблица 2. Структура урожая зеленой массы и биохимический состав зерна диплоидной и тетраплоидной кукурузы, 2022/2023**

**Table 2. Structure of green mass yield and biochemical composition of grain of diploid and tetraploid corn, 2022/2023**

Образец/ Accession	Урожайность, т/га/ Yield, t/ha			Содержание, %/ Content, %			
	зеленой массы с початками/ green mass with cobs	початков восковой спелости/ proportion of wax-ripe cobs	сухого вещества/ dry matter	сухого вещества в зеленой массе/ dry matter in green mass	жиров в зерне/ fat in grain	крахмала в зерне/ starch in grain	белка в зерне/ protein in grain
Радуга	24,4 <sup>a</sup> *	9,13 <sup>a</sup>	8,45 <sup>a</sup>	34,6 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	68,5 <sup>a</sup>	10,8 <sup>a</sup>
‘Тетрасил’	58,7 <sup>b</sup>	27,6 <sup>b</sup>	19,7 <sup>b</sup>	36,2 <sup>a</sup>	4,5 <sup>a</sup>	68,5 <sup>a</sup>	12,3 <sup>b</sup>

\* Примечание: одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически (p≤0,05)  
Note: the same superscript letters for each indicator designate values that do not differ statistically (p≤0.05)

самоконсервации. В варианте с диплоидной кукурузой в самоконсервирующемся силосе сумма кислот с 14-х по 60-е сутки увеличилась с 1,71% до 2,21%, биоконсервант AiBi 15.10 F способствовал накоплению суммы кислот

с 2,02% до 2,47%, а BIO-SIL – с 2,02% до 2,15% с пиком 2,24% на 30-й день. Прирост на 60-е сутки в этом варианте составил 0,50%, 0,45%, и 0,13% соответственно.

**Таблица 3. Динамика качества силоса в зависимости от вида консерванта\***

**Table 3. Dynamics of silage quality depending on the type of preservative\***

Продолжительность консервации, сут./ Duration of conservation, days.	Метод консервации/ Conservation method	Сумма кислот, %/ Total acids, %	Молочная кислота, %/ Lactic acid, %		Уксусная кислота, %/ Acetic acid, %		pH
			в силосной массе/ in silage mass	в сумме органических кислот/ in total organic acids	в силосной массе/ in silage mass	в сумме органических кислот/ in total organic acids	
<b>‘Тетрасил’/ ‘Tetrasil’</b>							
14	Без консерванта	1,87 <sup>b</sup>	1,29 <sup>a</sup>	68,98 <sup>a</sup>	0,58 <sup>c</sup>	31,02 <sup>n</sup>	4,28 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,10 <sup>ef</sup>	1,57 <sup>d</sup>	74,76 <sup>m</sup>	0,53 <sup>c</sup>	25,24 <sup>c</sup>	4,16 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,12 <sup>f</sup>	1,57 <sup>d</sup>	74,06 <sup>k</sup>	0,55 <sup>d</sup>	25,94 <sup>i</sup>	4,18 <sup>a</sup>
30	Без консерванта	2,29 <sup>j</sup>	1,69 <sup>g</sup>	73,80 <sup>j</sup>	0,60 <sup>fg</sup>	26,20 <sup>j</sup>	4,21 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,37 <sup>k</sup>	1,81 <sup>h</sup>	76,37 <sup>o</sup>	0,56 <sup>d</sup>	23,63 <sup>c</sup>	4,21 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,29 <sup>j</sup>	1,65 <sup>f</sup>	72,05 <sup>f</sup>	0,64 <sup>hi</sup>	27,95 <sup>l</sup>	4,23 <sup>a</sup>
60	Без консерванта	2,25 <sup>i</sup>	1,60 <sup>e</sup>	71,11 <sup>d</sup>	0,65 <sup>i</sup>	28,89 <sup>m</sup>	4,40 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,46 <sup>l</sup>	1,81 <sup>h</sup>	73,58 <sup>h</sup>	0,65 <sup>i</sup>	26,42 <sup>k</sup>	4,34 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,23 <sup>hi</sup>	1,64 <sup>f</sup>	73,54 <sup>g</sup>	0,59 <sup>ef</sup>	26,46 <sup>k</sup>	4,38 <sup>a</sup>
<b>‘Радуга’/ ‘Raduga’</b>							
14	Без консерванта	1,71 <sup>a</sup>	1,27 <sup>a</sup>	74,27 <sup>l</sup>	0,44 <sup>b</sup>	25,73 <sup>f</sup>	4,12 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,02 <sup>c</sup>	1,64 <sup>f</sup>	81,19 <sup>q</sup>	0,38 <sup>a</sup>	18,81 <sup>a</sup>	4,05 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,02 <sup>c</sup>	1,64 <sup>f</sup>	81,19 <sup>q</sup>	0,38 <sup>a</sup>	18,81 <sup>a</sup>	4,14 <sup>a</sup>
30	Без консерванта	2,07 <sup>d</sup>	1,49 <sup>b</sup>	71,98 <sup>c</sup>	0,58 <sup>c</sup>	28,02 <sup>l</sup>	4,16 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,09 <sup>de</sup>	1,66 <sup>f</sup>	79,43 <sup>p</sup>	0,43 <sup>b</sup>	20,57 <sup>b</sup>	4,09 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,24 <sup>i</sup>	1,65 <sup>f</sup>	73,66 <sup>i</sup>	0,59 <sup>ef</sup>	26,34 <sup>k</sup>	4,18 <sup>a</sup>
60	Без консерванта	2,21 <sup>h</sup>	1,57 <sup>d</sup>	71,04 <sup>c</sup>	0,64 <sup>hi</sup>	28,96 <sup>m</sup>	4,35 <sup>a</sup>
	AiBi 15.10 F	2,47 <sup>l</sup>	1,86 <sup>i</sup>	75,30 <sup>n</sup>	0,61 <sup>g</sup>	24,70 <sup>d</sup>	4,29 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	2,15 <sup>g</sup>	1,52 <sup>c</sup>	70,70 <sup>b</sup>	0,63 <sup>h</sup>	29,30 <sup>m</sup>	4,32 <sup>a</sup>

\* Примечание: одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически (p≤0,05)

Note: the same superscript letters for each indicator designate values that do not differ statistically (p≤0.05)

Если добавление AiBi 15.10 F и BIO-SIL к силосу из тетраплоидной и диплоидной кукурузы привело к относительно схожим результатам, то в варианте с самоконсервацией различия были более значимыми, при этом у диплоидной кукурузы суммарное накопление органических кислот было 0,50%, тогда как у тетраплоидной 0,38%.

Содержание молочной кислоты в силосной массе тетраплоидной кукурузы увеличилось на 0,31% в варианте без консерванта и 0,24% и 0,07% соответственно в вариантах с AiBi 15.10 F и BIO-SIL на 60-е сутки консервации. У силоса диплоидной кукурузы прирост количества молочной кислоты в силосной массе составил 0,3% при самоконсервации, тогда как с консервантом AiBi 15.10 F он составил 0,22%, а в варианте с консервантом BIO-SIL снизился на 0,12%. При этом молочная кислота в сумме органических кислот у силоса тетраплоидной кукурузы с обоими консервантами показывает схожие значения на 60-е сутки – 73,58% (AiBi 15.10 F) и 73,54% (BIO-SIL), а для силоса диплоидной кукурузы значения сильно разнятся. Так силос с консервантом AiBi 15.10 F показал 75,30%, а с BIO-SIL только 70,70%. Прирост содержания уксусной кислоты в силосной массе тетраплоидной кукурузы на 60-е сутки консервации составил 0,07% в варианте самоконсервации, у диплоидной кукурузы это значение составило уже 0,20%. В вариантах с консервантами AiBi 15.10 F и BIO-SIL у силоса тетраплоидной кукурузы накопление уксусной кислоты в силосной массе повысилось на 0,12% и 0,04% соответственно. У силоса диплоидной кукурузы с консервантами накопление уксусной кислоты происходило интенсивней и показало прирост 0,23% и 0,25% соответственно. При этом увеличение pH в силосной массе тетраплоидной кукурузы в варианте с самоконсервацией составило 0,12, а диплоидной – 0,23 единицы. Повышение кислотности в силосах с использованием консервантов тоже было различным в зависимости от пloidности кукурузы, использованной для силосования. Так для силоса тетраплоидной кукурузы с использованием консерванта AiBi 15.10 F прирост pH составил 0,18, а в случае консерванта BIO-SIL – 0,20. Силос из диплоидной кукурузы с добавлением консервантов AiBi 15.10 F и BIO-SIL показал прирост pH от 14-х к 60-м суткам в 0,24 и 0,18 единиц соответственно.

Результаты показали, что повышение кислотности силоса у диплоидной кукурузы выше при использовании консерванта AiBi 15.10 F, а у тетраплоидной – консерванта BIO-SIL. Значение pH, близкое к пороговому (pH=4,4), на 60-е сутки наблюдали в варианте с самоконсервированием у тетраплоидной кукурузы.

Содержание каротинов, протеина, жира, золы и клетчатки в силосе является важным показателем его питательной ценности. На 60-е сутки силос из сорта 'Тетра-сил' имел более высокие значения безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), и более низкие белка, жира, золы и клетчатки чем из сорта 'Радуга', при всех способах обработки, а при самоконсервации – более

высокое содержание каротина и процент сухого вещества. Сравнительный анализ содержания этих веществ в силосе тетраплоидной и диплоидной кукурузы показал (табл. 4), что в варианте с самоконсервацией содержание каротинов в силосе тетраплоидной кукурузы снизилось почти вдвое с 13,08 мг/кг до 8,15 мг/кг, тогда как в силосе диплоидной кукурузы, наоборот, увеличилась с 6,03 мг/кг до 7,56 мг/кг. Уменьшение содержания каротинов в силосе тетраплоидной кукурузы с биоконсервантами AiBi 15.10 F и BIO-SIL составило 2,88 мг и 4,08 мг соответственно, а в силосе диплоидной кукурузы увеличение составило 7,03 мг и 3,34 мг соответственно. Следует отметить, что вариант с использованием биоконсерванта AiBi 15.10 F показал лучшие значения, чем с BIO-SIL по динамике накопления каротинов в силосе диплоидной кукурузы.

При самоконсервации снижение протеина составило к 60-м суткам по сравнению с 14-ми 0,81% СВ у тетраплоидной кукурузы и 0,19% у диплоидной кукурузы. Наблюдалось небольшое повышение содержания белка на 30 день в силосе диплоидной и тетраплоидной кукурузы. В варианте силоса из AiBi 15.10 F увеличение протеина составило 0,19% СВ и 0,37% СВ для силоса из тетраплоидной и диплоидной кукурузы соответственно к 60-м суткам, а в варианте с BIO-SIL содержание протеина снизилось на 0,12% СВ и 0,38% СВ соответственно.

К 60-м суткам силосования силос из тетраплоидной кукурузы при самоконсервации показал снижение жиров с 2,30% СВ до 1,76% СВ, в то время как силос из диплоидной кукурузы продемонстрировал увеличение жира с 1,67% СВ до 1,83% СВ. У силоса тетраплоидной кукурузы с консервантом AiBi 15.10 F содержание жира снизилось с 2,12% СВ до 1,92% СВ, а с консервантом BIO-SIL с 2,28% СВ до 2,26% СВ. У силоса диплоидной кукурузы эти консерванты повысили содержание жира на 60-е сутки с 1,53% СВ до 2,00% СВ (AiBi 15.10 F) и с 1,85% СВ до 2,40% СВ (BIO-SIL). В силосе из тетраплоидной кукурузы с биоконсервантом AiBi 15.10 F снижение жиров составило 0,2% СВ, тогда как в силосе из диплоидной кукурузы наблюдалось повышение на 0,47% СВ. При сравнении значений этих двух силосов с биоконсервантом BIO-SIL, значения снизились на 0,02% СВ у силоса из тетраплоидной кукурузы и увеличились на 0,55% СВ у силоса из диплоидной кукурузы.

Снижение содержания золы к 60-м суткам при самоконсервации наблюдалось на 0,4% СВ у тетраплоидной кукурузы и на 0,21% СВ у диплоидной кукурузы. Зольность демонстрирует увеличение в процессе силосования в варианте с биоконсервантом AiBi 15.10 F на 0,33% СВ и снижение на 0,2% СВ в варианте с BIO-SIL в силосе из тетраплоидной кукурузы. В силосе из диплоидной кукурузы оба консерванта снизили значения на 0,28% СВ.

Для силоса из тетраплоидной кукурузы без консервантов увеличение клетчатки на 60-е сутки составило всего 0,45% СВ, тогда как для силоса диплоидной – в 10 раз выше, 4,02% СВ. Содержание клетчатки к 60-м

**Таблица 4. Динамика биохимического состава силоса в зависимости от вида консерванта**  
**Table 4. Dynamics of the biochemical composition of silage depending on the type of preservative**

Продолжительность консервации, сут. Duration of conservation, days.	Метод консервации/ Conservation method	Каротин, мг/кг сырого вещества./ Carotene, mg/kg of fresh matter	Белок, % СВ/ Protein, % DM	Жир, %/ СВ Fat, % DM	Зола, % СВ/ Ash, % DM	Клетчатка, % СВ/ Fiber, % DM	БЭВ, % СВ/ NFE, % DM	Сухое вещество, %/ Dry matter, %
<b>‘Тетрасил’/’Tetrasil’</b>								
14	Без консерванта	13,08 <sup>l</sup> *	6,31 <sup>f</sup>	2,30 <sup>n</sup>	5,44 <sup>d</sup>	27,66 <sup>b</sup>	58,29 <sup>i</sup>	22,63 <sup>l</sup>
	AiBi 15.10 F	9,43 <sup>i</sup>	5,50 <sup>b</sup>	2,12 <sup>l</sup>	4,86 <sup>a</sup>	28,68 <sup>c</sup>	58,84 <sup>f</sup>	21,02 <sup>c</sup>
	BIO-SIL	13,87 <sup>n</sup>	6,06 <sup>c</sup>	2,28 <sup>mm</sup>	5,25 <sup>c</sup>	27,63 <sup>b</sup>	58,78 <sup>j</sup>	21,95 <sup>fg</sup>
30	Без консерванта	8,25 <sup>g</sup>	6,75 <sup>j</sup>	2,35 <sup>o</sup>	5,45 <sup>d</sup>	28,35 <sup>de</sup>	57,10 <sup>f</sup>	21,17 <sup>d</sup>
	AiBi 15.10 F	7,69 <sup>e</sup>	5,09 <sup>a</sup>	1,64 <sup>b</sup>	5,38 <sup>d</sup>	28,38 <sup>de</sup>	59,51 <sup>l</sup>	22,29 <sup>j</sup>
	BIO-SIL	7,95 <sup>f</sup>	5,50 <sup>b</sup>	2,02 <sup>k</sup>	5,20 <sup>c</sup>	27,90 <sup>bc</sup>	59,38 <sup>k</sup>	21,89 <sup>f</sup>
60	Без консерванта	8,15 <sup>fg</sup>	5,50 <sup>b</sup>	1,76 <sup>d</sup>	5,04 <sup>b</sup>	28,11 <sup>cd</sup>	59,59 <sup>m</sup>	22,46 <sup>k</sup>
	AiBi 15.10 F	6,55 <sup>e</sup>	5,69 <sup>c</sup>	1,92 <sup>j</sup>	5,19 <sup>c</sup>	29,20 <sup>f</sup>	58,00 <sup>h</sup>	19,35 <sup>a</sup>
	BIO-SIL	9,79 <sup>k</sup>	5,94 <sup>d</sup>	2,26 <sup>mm</sup>	5,05 <sup>b</sup>	27,06 <sup>a</sup>	59,69 <sup>n</sup>	22,04 <sup>h</sup>
<b>‘Радуга’/’Raduga’</b>								
14	Без консерванта	6,03 <sup>a</sup>	6,69 <sup>j</sup>	1,67 <sup>c</sup>	6,00 <sup>g</sup>	28,14 <sup>cd</sup>	57,50 <sup>g</sup>	20,55 <sup>b</sup>
	AiBi 15.10 F	6,55 <sup>e</sup>	6,44 <sup>g</sup>	1,53 <sup>a</sup>	5,70 <sup>c</sup>	28,27 <sup>d</sup>	58,06 <sup>h</sup>	21,04 <sup>c</sup>
	BIO-SIL	6,33 <sup>b</sup>	7,63 <sup>o</sup>	1,85 <sup>f</sup>	5,71 <sup>c</sup>	30,63 <sup>h</sup>	54,18 <sup>d</sup>	21,41 <sup>c</sup>
30	Без консерванта	8,76 <sup>h</sup>	7,44 <sup>n</sup>	1,89 <sup>e</sup>	5,87 <sup>f</sup>	29,85 <sup>g</sup>	54,95 <sup>c</sup>	20,49 <sup>b</sup>
	AiBi 15.10 F	19,99 <sup>p</sup>	7,38 <sup>m</sup>	2,33 <sup>o</sup>	5,85 <sup>f</sup>	32,24 <sup>j</sup>	52,20 <sup>a</sup>	20,98 <sup>c</sup>
	BIO-SIL	18,97 <sup>o</sup>	7,81 <sup>p</sup>	1,85 <sup>f</sup>	5,85 <sup>f</sup>	31,86 <sup>i</sup>	52,63 <sup>b</sup>	20,75 <sup>c</sup>
60	Без консерванта	7,56 <sup>d</sup>	6,50 <sup>h</sup>	1,83 <sup>c</sup>	5,79 <sup>f</sup>	32,16 <sup>ij</sup>	53,72 <sup>c</sup>	22,18 <sup>i</sup>
	AiBi 15.10 F	13,58 <sup>m</sup>	6,81 <sup>k</sup>	2,00 <sup>k</sup>	5,42 <sup>d</sup>	32,44 <sup>k</sup>	53,33 <sup>b</sup>	22,00 <sup>gh</sup>
	BIO-SIL	9,67 <sup>i</sup>	7,25 <sup>l</sup>	2,40 <sup>p</sup>	5,43 <sup>d</sup>	32,78 <sup>k</sup>	52,14 <sup>a</sup>	22,40 <sup>k</sup>

\* **Примечание:** одинаковыми надстрочными буквами внутри каждого показателя обозначены значения, не различающиеся статистически ( $p \leq 0,05$ )

**Note:** the same superscript letters for each indicator designate values that do not differ statistically ( $p \leq 0.05$ )

суткам в варианте с силосом из тетраплоидной кукурузы увеличилось на 0,52% СВ для варианта с AiBi 15.10 F и снизились на 0,57% СВ для варианта с BIO-SIL. Силос из диплоидной кукурузы показал увеличение содержания клетчатки в обоих вариантах с биоконсервантом на 4,17% СВ и 2,15% СВ для AiBi 15.10 F и BIO-SIL соответственно.

Содержание БЭВ и сухого вещества в силосе является одним из основных показателей его ценности. Без применения консервантов в силосе тетраплоидной кукурузы БЭВ рост на 1,30% СВ, а в варианте с силосом из диплоидной кукурузы – снижение на 3,78% СВ. В силосе из тетраплоидной кукурузы с применением биоконсерванта AiBi 15.10 F отмечено снижение БЭВ на 0,84% СВ, диплоидной кукурузы – на 4,73% СВ, а с применением биоконсерванта BIO-SIL увеличение – в варианте с тетраплоидной кукурузой на 0,91% СВ и диплоидной на 2,04% СВ. Среднее значение БЭВ по всем вариантам опыта с силосом тетраплоидной кукурузы составляет 58,79% СВ, а у силоса диплоидной кукурузы ниже – 54,30% СВ. Уровень БЭВ в кукурузном силосе должен быть оптимальным (около 30-40% СВ). Значения БЭВ выше 40% может привести к слишком быстрой ферментации и ацидозу

(закислению рубца) у коров, что не желательно для силоса. В силосе как диплоидной, так и тетраплоидной кукурузы значения БЭВ высокие, что снижает его качество.

При анализе динамики сухого вещества в варианте с самоконсервацией силоса тетраплоидной кукурузы наблюдалось снижение на 0,17% СВ, а в варианте с диплоидной кукурузой увеличение на 1,63% СВ к 60-м суткам. В вариантах силоса с консервантами AiBi 15.10 F и BIO-SIL значения сухого вещества показали снижение у силоса из тетраплоидной кукурузы на 1,67% и незначительный прирост 0,09% СВ соответственно, и увеличение у силоса диплоидной кукурузы на 0,96% СВ и 0,99% СВ соответственно.

### Обсуждение

Силос из тетраплоидной кукурузы имеет ряд значимых отличий от силоса из диплоидной как по содержанию питательных веществ, так и по их динамике в процессе силосования до 60 суток. Силос диплоидной кукурузы на 60-е сутки силосования уступает силосу тетраплоидной по таким качественным показателям, как БЭВ и кислотность (pH), но характеризуется повышен-

ным содержанием протеина, жира, золы и клетчатки. Возможно, что эти различия вызваны более поздней группой спелости, либо высоким содержанием амилопектинового крахмала в зерне сорта 'Тетрасил' в сравнении с сортом 'Радуга', который лучше приспособлен к агроклиматическим условиям Саратовской области и содержит меньше амилопектина, чем сорт 'Тетрасил'.

В ходе эксперимента выявлены небольшие различия в том, как протекал процесс молочнокислого брожения при разных способах закладки (приготовления) силоса из диплоидной и тетраплоидной кукурузы. Способ самоконсервации (без внесения консервантов) характеризуется более медленным началом, но выраженным и продолжительным нарастанием содержания органических кислот в силосной массе, что подтверждается исследованиями других авторов (Jones et al., 1974; Jiang et al., 2020; Guo et al., 2022). Эта способность свойственна обоим испытанным сортам, с небольшим преимуществом тетраплоидного сорта 'Тетрасил' перед диплоидным. Благодаря ферментам и штаммам молочнокислых бактерий в составе биоконсерванта AiBi 15.10 F происходит стимулирование активного развития молочнокислого брожения на начальном этапе консервации с высоким уровнем молочной кислоты на протяжении всего эксперимента. Биоконсервант BIO-SIL отличается быстрым развитием молочнокислого брожения с пиком содержания обеих органических кислот на 30-е сутки с постепенным снижением на 60-е сутки консервации, что согласуется с данными ряда авторов (Muck, 2004; Erokchina et al., 2022; Zhang et al., 2023), а у силоса диплоидной кукурузы на 60-е сутки по молочной кислоте. Исследование Oliveira с соавторами (Oliveira et al., 2017) со ссылкой на метаанализ 130 статей показало, что инокулянты молочнокислых бактерий (МКБ) улучшают ферментацию силоса из злаковых и бобовых культур, но не влияют на ферментацию силоса из кукурузы, сорго и сахарного тростника (Oliveira et al., 2017).

Сравнение качества силоса, полученного из тетраплоидного сорта кукурузы с высокой долей амилопектина в крахмале, выявило ряд качественных отличий силоса, полученного из диплоидного сорта с обычным содержанием и качеством крахмала в зерне, что подтверждается результатами исследований других авторов (Fitzgerald, Murphy, 1999; Fernandes et al., 2021).

Тетраплоидная и диплоидная кукуруза дают корм хорошего качества независимо от типа используемых консервантов. Силос из тетраплоидной кукурузы изучался впервые, поэтому авторы не имеют возможности сравнить полученные результаты с результатами других исследований по этому направлению. Опытный силос, заготовленный из диплоидной и тетраплоидной кукурузы, по органолептическим и биохимическим показателям, отсутствию масляной кислоты, содержанию каротинов, молочной кислоты, pH соответствует первому классу по ГОСТ Р 55986-2022 (GOST R 55986-2022..., 2022) и ко 2 классу по содержанию других питательных веществ.

По урожайности зеленой массы с початками сорт кукурузы 'Тетрасил' значительно продуктивнее (58,7/га) чем сорт 'Радуга' (24,4т/га), и, соответственно, количество силосной массы, полученного с одного гектара посевной площади, у сорта 'Тетрасил' в 2,4 раза больше, чем у диплоидного сорта 'Радуга'. Следовательно, при возделывании сорта 'Тетрасил' на кормовые цели экономический эффект будет более выраженным за счет увеличения объема заготавливаемого корма без существенного снижения его качества. Это утверждение не согласуется с результатами других авторов, полученными на экспериментальных тетраплоидных популяциях (Atlin, Hunter, 1984), но хорошо согласуется с результатами исследований Лиатукаса и Букаускайте (Liatukas, Bukauskaitė, 2012), проведенных на селекционных сортах и популяциях тетраплоидного красного клевера, и результатами, полученными на диплоидных и тетраплоидных сортах райграса (Ahloowalia, 1974), а также сравнениями диплоидов и тетраплоидов у ржи (Pfahler et al., 1986).

## Заключение

Сорт 'Тетрасил' имеет преимущества перед сортом 'Радуга' по урожайности зеленой массы при возделывании в агроклиматических условиях Саратовской области. Силос диплоидной кукурузы на 60-е сутки силосования уступает силосу тетраплоидной кукурузы по таким качественным показателям, как БЭВ и кислотность (pH), но характеризуется повышенным содержанием протеина, жира, золы и клетчатки.

Молочнокислые консерванты имеют решающее значение для кукурузного силоса, поскольку они стимулируют процесс ферментации, быстро снижают уровень pH и предотвращают рост нежелательных микроорганизмов, тем самым обеспечивая сохранение питательной ценности корма и его аэробную стабильность. Используемые в опытных вариантах биоконсерванты AiBi 15.10 F и BIO-SIL изменяли качественные показатели на 60-е сутки консервации по всем компонентам. Консервант AiBi 15.10 F на 60-е сутки способствовал накоплению каротинов у силоса диплоидной кукурузы до 13,58% СВ, а BIO-SIL в варианте с тетраплоидной кукурузой снижению до 9,79% СВ. Содержание протеина и жира в силосе с консервантом BIO-SIL в силосах диплоидной и тетраплоидной кукурузы выше, чем с использованием AiBi 15.10 F. По содержанию на 60-е сутки в силосе тетраплоидной кукурузы золы (5,19% СВ) и клетчатки (29,20% СВ) консервант AiBi 15.10 F показал лучшие значения, чем BIO-SIL, для силоса диплоидной кукурузы преимущество по зольности у варианта с самоконсервацией (5,79% СВ), а по содержанию клетчатки у BIO-SIL (32,78% СВ). БЭВ и сухое вещество в силосе тетраплоидной кукурузы показали высокие значения в варианте с BIO-SIL (59,69% СВ) и при самоконсервации (22,46% СВ), а для силоса диплоидной кукурузы – в варианте самоконсервации (53,72% СВ) и BIO-SIL

(22,40% СВ) соответственно. Следует отметить, что при относительно одинаковой доле молочной кислоты в сумме органических кислот в силосе тетраплоидной кукурузы с использованием AiBi 15.10 F и BIO-SIL (73,58% СВ и 73,54% СВ соответственно), в силосе диплоидной кукурузы консерванты вызвали резкие различия, AiBi 15.10 F способствовал большей доле молочной кислоты (75,30% СВ), чем BIO-SIL (70,70% СВ).

Основным преимуществом тетраплоидной кукурузы перед диплоидной является ее большая продуктивность по сбору силосной массы и повышенное содержание белка в зерне и абсолютно сухого вещества в зеленой массе, полученной в агроклиматических условиях Саратовской области. Кукуруза является традиционной культурой для заготовки сочных консервированных кормов, с оптимальным соотношением сахара и буфера, для быстрого развития молочнокислого брожения, и использование впервые тетраплоидной кукурузы по сравнению с диплоидной, несомненно, вызывает научный интерес для продолжения исследований.

## References/Литература

- Ahloowalia B.S. Microsward comparison of diploid and tetraploid ryegrass varieties. *Irish Journal of Agricultural Research*. 1974;13(2):163-169.
- Atlin G.W., Hunter R.B. Comparison of growth, forage yield and nutritional quality of diploid and autotetraploid maize synthetics. *Canadian Journal of Plant Science*. 1984;64:593-598. DOI: 10.4141/cjps84-083
- Coulter J. Selecting corn hybrids for silage production. *University of Minnesota Extension: [website]*. 2021. Available from: <https://extension.umn.edu/corn-hybrid-selection/selecting-corn-hybrids-grain-production> [accessed Nov. 19, 2025].
- Dospekhov B.A. Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results: [Textbook]) (Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy: [uchebnik]). 5th ed. Moscow: Alliance; 2011. [in Russian] (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): [учебник]. 5-е изд. Москва: Альянс; 2011).
- Ericsson K., Nilsson L.J. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy*. 2006;30(1):1-15. DOI: 10.1016/j.biombioe.2005.09.001
- Erokhina A.V., Sazonova I.A., Chernykh T.N. Influence of biopreservatives in the process of silage of corn and sugar sorgho on fermentation quality. *The Agrarian Scientific Journal*. 2022;(3):63-65. [in Russian] (Ерохина А.В., Сазонова И.А., Черных Т.Н. Зависимость качества брожения от применения биоконсервантов при силосовании кукурузы и сахарного сорго. *Аграрный научный журнал*. 2022;(3):63-65). DOI: 10.28983/asj.y2022i3pp63-65
- Fernandes J., Benjamim da Silva É., Carvalho-Estrada P.A., Daniel P.J.L., Nussio L.G. Influence of hybrid, moisture, and length of storage on the fermentation profile and starch digestibility of corn grain silages. *Animal Feed Science and Technology*. 2021;271:114707. DOI: 10.1016/j.anifeeds.2020.114707
- Fitzgerald J.J., Murphy J.J. A comparison of low starch maize silage and grass silage and the effect of concentrate supplementation of the forages or inclusion of maize grain with the maize silage on milk production by dairy cows. *Livestock Production Science*. 1999;57(2):95-111. DOI: 10.1016/S0301-6226(98)00200-0
- GOST 13496.15-2016. Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content: Interstate standard. Moscow: Standartinform; 2020. [in Russian] (ГОСТ 13496.15-2016. Корма, Комбикорма, Комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира: межгосударственный стандарт. Москва: Standartinform; 2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200140598> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST 26213-2021. Soils. Methods for determination of organic matter: Interstate standard. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021. [in Russian] (ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества: межгосударственный стандарт. Москва: Российский институт стандартизации; 2021). URL: <https://meganorm.ru/Data/758/75803.pdf> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005). Feeds, mixed feeds and raw material. Determination of mass fraction of nitrogen and calculation of mass fraction of crude protein. Part 1. Kjeldahl method: Interstate standard. Moscow: Standartinform; 2014. [in Russian] (ГОСТ 32044.1-2012 (ISO 5983-1:2005). Корма, Комбикорма, Комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Ч. 1. Метод Кьельдаля: межгосударственный стандарт. Москва: Standartinform; 2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105311> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST ISO 15914-2016. Animal feeding stuffs. Enzymatic determination of total starch content: Interstate standard. Moscow: Standartinform; 2017. [in Russian] (ГОСТ ISO 15914-2016. Корма для животных. Ферментативный метод определения содержания общего крахмала: межгосударственный стандарт. Москва: Standartinform; 2017). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139937> [дата обращения: 15.09.2025].
- GOST R 55986-2022. High-moisture silage and prewilted silage. General specifications: National standards of the Russian Federation. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022. [in Russian] (ГОСТ Р 55986-2022. Силос и силаж. Общие технические условия: национальный стандарт Российской Федерации. Москва: Российский институт стандартизации; 2022). URL: <https://meganorm.ru/Data/780/78019.pdf> [дата обращения: 15.09.2025].
- Guo X., Guo W., Yang M., Sun Y., Wang Y., Yan Y., Zhu B. Effect of *Bacillus* additives on fermentation quality and bacterial community during the ensiling process of whole-plant corn silage. *Processes*. 2022;10(5):978. DOI: 10.3390/pr10050978
- Jiang F.G., Cheng H.J., Liu D., Wei C., An W.J., Wang Y.F., Sun H.T., Song E.L. Treatment of whole-plant corn silage with lactic acid bacteria and organic acid enhances quality by elevating acid content, reducing pH, and inhibiting undesirable microorganisms. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11:593088. DOI: 10.3389/fmicb.2020.593088
- Jones G.M., Mowat D.N., Elliot J.I., Moran E.T. Organic acid preservation of high moisture corn and other grains and the nutritional value: A review. *Canadian Journal of Animal Science*. 1974;54(4):499-517. DOI: 10.4141/cjas74-063
- Keady T.W.J., Kilpatrick D.J., Mayne C.S., Gordon F.J. Effects of replacing grass silage with maize silages, differing in maturity, on performance and potential concentrate sparing effect of dairy cows offered two feed value grass silages. *Livestock Science*. 2008;119:1-11. DOI: 10.1016/j.livsci.2008.02.006
- Khan N.A., Tewoldebrhan T.A., Zom R.L.G., Cone J.W., Hendriks W.H. Effect of corn silage harvest maturity and concentrate type on milk fatty acid composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2012;95:1472-1483. DOI: 10.3168/jds.2011-4701
- Khatetov E.B. Seed productivity of tetraploid corn and ways to increase it in the conditions of Kabardino-Balkaria. St. Petersburg: Print Center; 2012. [in Russian] (Хатетов Э.Б. Семенная продуктивность тетраплоидной кукурузы и пути ее повышения в условиях Кабардино-Балкарии. Санкт-Петербург: Принт Центр; 2012).
- Kirkland R.M., Steen R.W.J., Gordon F.J., Keady T.W.J. The influence of grass and maize silage quality on apparent diet digestibility, metabolizable energy concentration and intake of finishing beef cattle. *Grass and Forage Science*. 2005;60(3):244-253. DOI: 10.1111/j.1365-2494.2005.00472.x
- Kliem K.E., Morgan R., Humphries D.J., Shingfield K.J., Givens D.I. Effect of replacing grass silage with maize silage in the diet on bovine milk fatty acid composition. *Animal*. 2008;2(12):1850-1858. DOI: 10.1017/S1751731108003078
- Liatukas Z., Bukauskaitė J. Differences in yield of diploid and tetraploid

- red clover in Lithuania. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural Exact and Applied Sciences*. 2012;66(4/5(679/680)):163-167. DOI: 10.2478/v10046-012-0023-y
- Muck R. Effects of corn silage inoculants on aerobic stability. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 2004;47(4):1011-1016. DOI: 10.13031/2013.16571
- Muck R.E., Kung L. Silage production. In: R.F. Barnes, C.J. Nelson, K.J. Moore, M. Collins (eds). *Forages: the science of grassland agriculture. Vol. II*. 6<sup>th</sup> ed. Ames, Iowa: Blackwell Publishing; 2007.
- Oliveira A.S., Weinberg Z.G., Ogunade I.M., Cervantes A.A.P., Arriola K.G., Jiang Y., Kim D., Li X., Gonçalves M.C.M., Vyas D., Adesogan A.T. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(6):4587-4603. DOI: 10.3168/jds.2016-11815
- Pfahler P.L., Barnett R.D., Luke H.H. Diploid-tetraploid comparisons in rye. II. Forage quality. *Crop Science*. 1986;26(1):185-188. DOI: 10.2135/cropsci1986.0011183X002600010044x
- Phipps R.H., Sutton J.D., Beaver D.E., Jones A.K. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. 3. Food intake and milk production. *Animal Science*. 2000;71(2):401-409. DOI: 10.1017/S1357729800055259
- Randolph L.F. Cytogenetics of tetraploid maize. *International Journal of Agricultural Research*. 1935;50:591-605.
- Shmaraev G.E. (ed.). Study and maintenance of maize collection accessions: guidelines (Izucheniye i podderzhanie obraztsov kollekttsii kukuruzy: metodicheskiye ukazaniya/ sost.: G.E. Shmaraev, G.V. Matveeva (comp.). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: методические указания/ сост.: Г.Е. Шмараев, Г.В. Матвеева ; под ред. Г.Е. Шмараева. Ленинград: ВИР; 1985).
- Sockness B.A., Dudley J.W. Morphology and yield of isogenic diploid and tetraploid maize inbreds and hybrids. *Crop Science*. 1989;29(4):1029-1032. DOI: 10.2135/cropsci1989.0011183X002900040041x
- Zhang J., Liu Y., Wang Z., Bao J., Zhao M., Si Q., Sun P., Ge G., Jia Y. Effects of different types of LAB on dynamic fermentation quality and microbial community of native grass silage during anaerobic fermentation and aerobic exposure. *Microorganisms*. 2023;17(12):513. DOI: 10.3390/microorganisms11020513

### **Информация об авторах**

**Эдуард Балилович Хатефов**, доктор 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, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

**Анна Викторовна Ерохина**, старший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы (ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»), 410050 Россия, Саратов, 1-й Институтский проезд, 4, пос. Зональный, eroha46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5874-1931>

**Екатерина Александровна Жук**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, ООО «Агро Эксперт Групп», 107023 Россия, Москва, ул. Большая Семеновская, 40, строение 13, e.a.zhuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6763-3724>

**Сергей Александрович Зайцев**, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ООО «Русид», 410530 Россия, Саратов, поселок Дубки, тер. Девон-Альянс, здание 6, zea\_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

**Юлия Андреевна Керв**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

**Илья Анатольевич Кибкало**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

### **Information about the authors**

**Eduard B. Khatefov**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, haed1967@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5713-2328>

**Anna V. Erokhina**, Senior Researcher, Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research, Design and Technology Institute of Sorghum and Corn, 4, 1 Institutsky Proezd, Saratov, 410050 Russia, eroha46@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5874-1931>

**Ekaterina A. Zhuk**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Specialist, Agro Expert Group, LLC, , 40, Building 13, Bolshaya Semenovskaya Street, Moscow, 107023 Russia, e.a.zhuk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6763-3724>

**Sergey A. Zaitsev**, Cand. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, RUSID LLC. Building 6, Devon-Alliance Territory, Dubki Settlement, Saratov, 410530 Russia, zea\_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

**Yulia A. Kerv**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, kerv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3728-6968>

**Ilya A. Kibkalo**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.kibkalo@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8870-121X>

**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 04.12.2025; одобрена после рецензирования 13.12.2025; принята к публикации 23.12.2025.

The article was submitted on 04.12.2025; approved after reviewing on 13.12.2025; accepted for publication on 23.12.2025.

Обзорная статья  
УДК 635:631.52  
DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-09



## Коллекция мирового разнообразия овощных и бахчевых культур ВИР и основные направления ее использования

А. М. Артемьева, И. В. Гашкова, М. М. Игумнова, А. Б. Курина, Д. Л. Корнюхин, Д. В. Соколова, Д. А. Фатеев, Т. В. Хмелинская, В. В. Шумилина, Т. М. Пискунова

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

*Автор, ответственный за переписку:* Анна Майевна Артемьева, a.artemyeva@vir.nw.ru

Актуальность сохранения и расширения variability признаков культурных растений в генных банках возрастает в связи со значительным сужением генетической базы современных сортов интенсивного типа. Материалы овощных и бахчевых культур в Коллекции ВИР насчитывают свыше 53 тыс. образцов из 98 стран мира, включая представителей 32 семейств, 148 родов, 610 видов. В системе мировых генных банков коллекции овощных и бахчевых культур ВИР занимают ведущие места. Уникальность коллекций достигает 80%. Основные направления пополнения коллекций: сбор диких видов и местных форм с высокой степенью устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, с ценным биохимическим составом. Выделение генетических источников и доноров ценных признаков овощных и бахчевых культур, предлагаемых впоследствии для использования в селекционных программах, происходит на основе изучения мировой коллекции овощных и бахчевых культур в 11 филиалах ВИР, расположенных в различных эколого-географических зонах Российской Федерации, и в головном институте в Санкт-Петербурге. В этих подразделениях проводится комплексное ботанико-агробиологическое, эколого-географическое, морфологическое, биохимическое, иммунологическое и генетическое изучение, особое внимание при этом уделяется характеристике образцов по скороспелости, лежкости при длительном хранении, холодо-, засухо- и жаростойкости, особенностям развития, биологии цветения, устойчивости к болезням и вредителям, химическому составу. В кратком обзоре мирового разнообразия коллекции генетических ресурсов овощных и бахчевых культур ВИР представлен анализ основных направлений ее использования для современных направлений селекции. Сообщаются сведения о заявках на материалы образцов овощных и бахчевых культур из Коллекции ВИР, поступившие за последние пять лет, в 2021-2025 годах.

**Ключевые слова:** овощные и бахчевые культуры, мировая коллекция, пополнение, раскрытие генетического потенциала, хозяйственно-ценные признаки

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзадания ВИР (FGEM-2025-0009)

**Для цитирования:** Артемьева А.М., Гашкова И.В., Игумнова М.М., Курина А.Б., Корнюхин Д.Л., Соколова Д.В., Фатеев Д.А., Хмелинская Т.В., Шумилина В.В., Пискунова Т.М. Коллекция мирового разнообразия овощных и бахчевых культур ВИР и основные направления ее использования. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):80-94. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-09

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.

© Артемьева А.М., Гашкова И.В., Игумнова М.М., Курина А.Б., Корнюхин Д.Л., Соколова Д.В., Фатеев Д.А., Хмелинская Т.В., Шумилина В.В., Пискунова Т.М., 2025

---

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o9

## VIR collection of the global diversity of vegetable and cucurbit crops and the main directions of its use

Anna M. Artemyeva, Irina V. Gashkova, Maria M. Igumnova, Anastasia B. Kurina, Dmitry L. Korniyukhin, Diana V. Sokolova, Dmitry A. Fateev, Tatiana V. Khmelinskaya, Vera V. Shumilina, Tatiana M. Piskunova

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

**Corresponding author:** Anna M. Artemyeva, a.artemyeva@vir.nw.ru

Relevance of cultivated plant preservation in gene banks and broadening variability of their traits keeps increasing due to the substantial shrinking of the genetic base for the development of modern intensive varieties. The VIR Collection contains over 53,000 vegetable and cucurbit specimens from 98 countries, including representatives of 32 families, 148 genera, and 610 species. VIR vegetable and cucurbit collections have leading positions in the global gene bank system. The uniqueness of the collections reaches 80%. The main areas of collection development include the collection of wild species and local forms with a high degree of resistance to biotic and abiotic stresses and valuable biochemical composition. The identification of genetic sources and donors of valuable traits in vegetable and cucurbit crops, subsequently proposed for use in breeding programs, is based on a study of the global collection of vegetable and cucurbit crops at 11 VIR branches located in various ecological and geographical zones of the Russian Federation and at the main institute in St. Petersburg. These comprehensive botanical-agrobiological, ecological-geographical, morphological, biochemical, immunological, and genetic studies are conducted with particular attention paid to the characteristics of accessions for early maturity, shelf life during long-term storage, cold, drought, and heat resistance, developmental characteristics, flowering biology, disease and pest resistance, and chemical composition. This brief overview of the global diversity of VIR collections of vegetable and cucurbit genetic resources presents an analysis of the main areas of their use in modern breeding. This article reports information on how the accessions of vegetable and cucurbit crops from the VIR collection were used on request over the past five years, during 2021-2025.

**Keywords:** vegetable and cucurbit crops, global collection, replenishment, revelation of genetic potential, economically valuable traits

---

**Acknowledgements:** This work was carried out within the framework of the State Assignment to VIR (FGEM-2025-0009).

**For citation:** Artemyeva A.M., Gashkova I.V., Igumnova M.M., Kurina A.B., Korniyukhin D.L., Sokolova D.V., Fateev D.A., Khmelinskaya T.V., Shumilina V.V., Piskunova T.M. VIR collection of the global diversity of vegetable and cucurbit crops and the main directions of its use. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):80-94. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o9

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.

---

© Artemyeva A.M., Gashkova I.V., Igumnova M. M., Kurina A.B., Korniyukhin D.L., Sokolova D.V., Fateev D.A., Khmelinskaya T.V., Shumilina V.V., Piskunova T.M., 2025

## Введение

Мировая коллекция генетических ресурсов овощных и бахчевых культур включает более 53 тысяч образцов различного статуса, представителей 610 видов, привлеченных в ВИР за 103 года. Коллекция пополняется на 500-600 образцов в год в результате экспедиционных сборов, поступлений из генных банков, научных и селекционных учреждений РФ и зарубежных стран. Комплексное изучение более двух тысяч образцов коллекции ежегодно осуществляется в различных климатических зонах страны в 11 филиалах ВИР. В ВИР созданы и пополняются признаковые коллекции по традиционным и новейшим направлениям селекции каждой культуры, стержневые и генетические коллекции.

Цель данной работы – обзор разнообразия коллекций овощных и бахчевых культур ВИР и анализ основных направлений их использования для различных направлений селекции.

Коллекция **капусты** включает 3646 образцов 16 капустных культур, принадлежащих к видам капусты огородная *Brassica oleracea* L., репа *B. rapa* L., рапс *B. napus* L., горчица *B. juncea* Czern. Первые образцы поступили в коллекцию в 1925 году. Мировое разнообразие типов капусты и капустных культур вида репа представлено в коллекции ВИР очень полно, как в эволюционно-ботаническом, так и в агробиологическом аспекте, и включает источники для основных и специальных направлений селекции (Artemyeva et al., 2018; 2019). Коллекции овощного рапса и овощной горчицы вследствие малой востребованности в России представляют ограниченную часть существующего в мире разнообразия внутривидовых типов. В последние годы экспедициями ВИР по Крыму, Приволжскому региону РФ, Белоруссии, Азербайджану, Узбекистану, Средней Азии, полуостровным селениям молокан Армении и Абхазии собраны уникальные местные сорта белокочанной капусты: впервые привлечены образцы капусты с комплексной устойчивостью к листогрызущим чешуекрылым вредителям, капустной мухе и трипсам, с очень высоким содержанием сухого вещества, аскорбиновой кислоты и каротина. По обмену привлечены отсутствующие ранее в коллекции ультраскороспелые линии брокколи с крупной головкой из ФНЦ овощеводства, кольраби из Нидерландов, высоко облиственные формы листовой кормовой капусты из Швеции и Испании, декоративные из Китая. С учетом нового материала амплитуды изменчивости признаков культуры, описанные ранее (Lizgunova, 1984), расширяются. Так, изменчивость признака продолжительности вегетационного периода белокочанной капусты находится теперь в пределах 70-240 дней, диаметра листовой розетки – 20-150 см, масса стандартного кочана – 0,3-25 кг. В настоящее время востребованы карликовые формы овощных культур, которые используются для получения порционных продуктивных органов и повыше-

ния урожайности с единицы площади путем загущенного выращивания, в том числе в условиях защищенного грунта. Первые карликовые мутанты белокочанной капусты ‘Pee-wee’ (к-2428, Канада) и ‘Little Leaguer’ (к-2427, Канада) были привлечены в коллекцию ВИР в 1980 году. В настоящее время в признаковой коллекции находятся карликовые формы белокочанной, листовой, пекинской, китайской и розеточной капусты различного происхождения с одним или двумя генами карликовости; все образцы непревзойденные по скороспелости, с листовой розеткой и/или кочаном отличного качества, высоким адаптивным потенциалом. Формируются признаковые коллекции по устойчивости капустных культур к основным болезням: киле, альтернариозу, фузариозу, бактериозам, к вредителям; ценному биохимическому составу; коллекции капусты для выращивания с использованием современных установок искусственного климата (Artemyeva et al., 2021b; Solovyeva et al., 2021; Artemyeva, Kurina, 2024; Ogudin et al., 2025). Высоко востребованными селекционерами являются признаки декоративности, прежде всего листовой капусты, оригинальной окраски головки цветной капусты: ярко-зеленой, оранжевой и фиолетовой, фиолетовой окраски растений савойской, листовой, пекинской и китайской капусты с высоким содержанием антиоксидантов, в том числе пигментов каротиноидов и антоцианов; источники этих признаков привлекаются в коллекцию ВИР (Artemyeva, 2021a). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 39 образцов капусты из Коллекции ВИР.

**Салат.** Коллекция рода *Lactuca* L. начала формироваться в ВИР с конца 1920-х годов и в настоящее время насчитывает 2590 образцов, поступивших из 75 стран мира, прежде всего из Германии, Франции, США, Англии, Нидерландов, Канады, Италии и Венгрии. Род *Lactuca* включает четыре подрода: 1) subgen. *Mulgedium* (Cass.) Babc., Stebb. et Jenk.; 2) subgen. *Lactucopsis* (Sch. Bip.) Babc., Stebb. et Jenk.; 3) subgen. *Pterachaenium* (Kitam) Kirp.; 4) subgen. *Lactuca* L. Современные методы селекции салата основаны на привлечении и использовании диких видов, обладающих генами устойчивости к многочисленным патогенам, многолистности, и в целом широким уровнем разнообразия хозяйственно полезных признаков. В коллекции ВИР зарегистрированы образцы диких видов салата: *L. saligna*; *L. virosa*; *L. dregeana* D.C.; *L. serriola*; *L. altaica*, *L. scariola*, *L. perennis*, *L. indica*, *L. georgica*. С учетом морфологических признаков и биологических особенностей культурного салата *Lactuca sativa* L. выделено пять разновидностей: var. *sativa* (посевной), var. *angustana* (стебельный), var. *capitata* (кочанный), var. *longifolia* (ромен, кос-салат, римский салат), var. *crispa* (кудрявый); создана и продолжает разрабатываться агроэкологическая классификация, включающая 33 сортогруппы (Girenko, Korovina, 1988). Наиболее широко в коллекции представлены сорта разновидностей var. *sativa*, var. *capitata*, var. *crispa*. Пополнение мировой коллекции салата ВИР идет интенсив-

но. С 1990 года, после публикации «Культурной флоры», посвященной салату, в коллекцию поступило 1400 образцов. Для современного российского производства нужны сорта всех морфологических типов, скороспелые, ценные по комплексу хозяйственных и биохимических признаков, пригодные для возделывания в различных условиях. Мировая коллекция салата *Lactuca* ВИР может решить основные проблемы производства салата в России, такие как: невысокая урожайность, восприимчивость культурных форм к болезням, неблагоприятным условиям выращивания, отсутствие сортов для современных технологий защищенного грунта. В коллекцию привлекаются новые формы салата посевного: кочанные с различным типом кочана сортотипов Батавия, Беттнера, Айсберг, спаржевые сорта, салат ромэн, фиолетово окрашенные сорта с высоким содержанием антоциана, сорта с пониженной требовательностью к освещенности, устойчивые к мучнистой росе, физиологическому заболеванию ожог края листа. За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 48 образцов салата из Коллекции ВИР.

Коллекция **моркови** *Daucus carota* L. ВИР насчитывает 3175 образцов. В коллекции полно представлено генетическое разнообразие европейской subsp. *carota* и азиатской subsp. *orientalis* (Rubasch.) Setch. моркови, дикорастущей и культурной, отнесенной к 11 разновидностям (Sazonova, Vlasova, 1990; Shipilina, Khmelinskaya, 2024). В последние годы из экспедиций по Армении, Азербайджану, Таджикистану, Казахстану и Киргизии поступили более 70 образцов дикорастущей моркови европейской, которая легко скрещивается с культурной морковью, причем имеет доминантный тип наследования морфологических признаков главного корня. Морковь европейская культурная представлена примитивными типами и современными сортами и гибридами с различной окраской корнеплодов: белой (var. *sativus* Alef.), желтой (var. *sulfureus* Alef.), фиолетовой (var. *atrorubrus* Alef.) и оранжевой (var. *aurantius* Alef.). Наибольший интерес среди образцов подвида восточного (азиатского) представляют местная желтая (ксантофилловая) морковь из Узбекистана, а также японская (ликопиново-каротиновая). Морковь азиатская оранжевая (каротиновая) – ценный источник солеустойчивости и жаростойкости. Местные сорта и типы азиатской розовой моркови (антоцианово-каротиновой) являются ценными источниками высокой энергии прорастания семян, стабильной урожайности и холодостойкости. Местные сорта азиатской красно-фиолетовой (антоцианово-ксантофилловой) моркови из Афганистана, Турции, Ирана отличаются устойчивостью к болезням, а азиатская антоцианово-каротиновая морковь из Афганистана и Азербайджана представляет интерес для селекции как источники естественных красителей для пищевых продуктов. Для селекционного использования представляют интерес формы моркови var. *aurantius* Alef., относящиеся к сортотипу Амагер, обладающие генами интенсивного роста

в длину и в ширину, с цилиндрической формой корнеплода, с повышенным содержанием каротина, устойчивые к растрескиванию, с тупым неотламывающимся кончиком. Сорта сортотипа Валерия отличаются генами, контролирующими рост корнеплодов в длину, а образцы сортотипов Геранда и Каротель обладают генами, контролирующими интенсивное увеличение диаметра корнеплода. Имеющиеся в коллекции селекционные и местные сорта позволяют выделять источники высокой урожайности, товарности, устойчивости к болезням и вредителям культуры (Artemyeva et al., 2018), исходный материал для селекции лежких сортов моркови (Ermolaeva, Khmelinskaya, 2022). Вновь привлеченные сорта моркови также показывают высокую дифференциацию по содержанию химических компонентов: сухое вещество, общее содержание сахара, аскорбиновая кислота, каротин, лютеин, антоциан. Специальные направления селекции моркови: отсутствие позеленения плечиков, однородность окраски флоэмы и ксилемы, вкус, в том числе сладость сырой моркови, отсутствие горечи и запаха (Rubatzky et al., 2007). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 54 образцов моркови из Коллекции ВИР.

**Репа, брюква, редька, редис.** Коллекция корнеплодных культур семейства капустные Brassicaceae (репа *Brassica rapa* L., брюква *Brassica napus* L., редька и редис *Raphanus sativus* L.), хранящаяся в ВИР, насчитывает 3716 образцов. Коллекцию репы структурируют и описывают на основании классификации, предложенной М.А. Шебалиной (Shabalina, 1974). За последние годы коллекция пополнилась новыми образцами из мировых генных банков. Так, из Южной Кореи была получена группа местных корейских реп, ранее не описанных в русскоязычной литературе, которую предлагается выделить в новый сортотип. Собрана коллекция японских реп, установлена способность японских реп (сортотипы Шогоин, Кокабу, Нагасаки Ака, Хида бэни) формировать корнеплод в условиях теплицы осенью при коротком световом дне и низкой освещенности, недостаточной для формирования товарного корнеплода европейскими репами. На территории Согдийской области Таджикистана была собрана уникальная местная репа, относящаяся к группе реп афганского типа, выделенной Е.Н. Синской в 1928 году. Афганская репа является предковой формой для азиатских реп, эта находка важна для изучения вопросов происхождения и генезиса культурной репы. Для пополнения коллекции представляют интерес также европейские репы, как современные сорта, так и предковые образцы, которые до сих пор можно найти в Европе. Так, в селекции востребованы и в коллекции появились пять образцов французских сухих черных реп – это реликтовые репы, которые в наше время выращиваются на территории Франции и Испании энтузиастами. Черные репы уникальны по признаку наличия толстой (до 3 мм) сетчатой коры, покрывающей корнеплод, за счет чего корнеплод выглядит черным либо бурым. В литературе можно

найти упоминание о серых французских репах, например, в каталоге Vilmorin (Les plantes..., 1883) описан сорт репы 'Navet gris de Morigny'. Возможно, что серые и черные французские репы близки по своему происхождению. Черные репы представляют интерес для селекции на высокое содержание сухого вещества и устойчивость к механическим повреждениям при транспортировке. Проводятся исследования коллекции брюквы, позволяющие её структурировать по морфологическим, биохимическим, фитопатологическим, хозяйственно-ценным признакам (Burenin et al., 2017). Установлены сортоотипы брюквы, представители которых в меньшей степени поражаются заболеваниями и вредителями, имеют высокую товарность, лежкость. В коллекции выделяют источники селекционно-ценных признаков. Коллекция редиса, редьки и диких видов рода *Raphanus* L. начала формироваться в институте с 1928 года. Активное участие в формировании и изучении коллекции принимали Н.И. Вавилов, Е.Н. Синская, В.Т. Красочкин, Л.В. Сазонова и другие. В настоящее время коллекция ВИР насчитывает больше 2300 образцов, поступивших из 75 стран мира. Все годы образцы коллекции активно и всесторонне исследовались (Artemyeva et al., 2018). При работе с коллекцией проводят определение амплитуды изменчивости вегетационного периода, особенностей строения и развития вегетативных органов растения. Выделяют источники устойчивости к раннему стеблеванию при весеннем посеве, пониженным и повышенным температурам. Определяют стабильность и пластичность образцов различных сортоотипов, ведется поиск генотипов с высоким адаптационным потенциалом. Определяют особенности накопления образцами редиса и редьки компонентов биохимического состава корнеплодов, а именно, сахаров, витаминов, фенольных соединений. Ведется поиск образцов, сочетающих в себе высокую продуктивность с устойчивостью к заболеваниям, главными из которых в Северо-Западном регионе Российской Федерации являются кила крестоцветных и альтернариоз и устойчивостью к поражению вредителями, такими, как капустные мухи рода *Delia* sp. и крестоцветные блошки. За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 15 образцов корнеплодных культур семейства капустные из Коллекции ВИР.

Коллекция **огурца** *Cucumis sativus* L. ВИР представлена 3611 образцами, отнесенными к 24 разновидностям согласно классификации В.И. Пыженкова (Pyzhenkov, Malinina, 1994). Она является одной из четырех коллекций ВИР, включенных в глобальную мировую систему сохранения генетических ресурсов растений ФАО. Источником наибольшего числа образцов является Россия, где огурец является традиционным и очень распространенным овощем. Много образцов поступило в коллекцию из стран, где развита селекция этой культуры: Нидерландов, США, Германии. Важной составной частью коллекции являются образцы из очагов происхождения и формообразования огурца: Индии, Китая и Японии. Создание

высокопродуктивных партенокарпических гибридов огурца, устойчивых к основным вредоносным заболеваниям и отличающихся ограниченным боковым ветвлением, является важнейшим направлением селекции огурца для защищенного грунта (Korottseva, Khimich, 2013). Для выращивания в открытом грунте нужны сорта и гибриды интенсивного типа плодоношения, способные стабильно плодоносить в регионах с неустойчивыми природно-климатическими условиями (Vysochin et al., 2018). Широкий диапазон изменчивости признаков у образцов огурца коллекции ВИР позволяет выделить источники необходимых для селекции ценных признаков и свойств и создать признаковую коллекцию, в которую включены образцы со склонностью к партенокарпическому завязыванию плодов, с женским типом цветения, ограниченным боковым ветвлением, одностебельностью, букетным заложением завязей, отсутствием горечи в плодах, устойчивостью к мучнистой росе и пероноспорозу (Artemyeva et al., 2018; Piskunova, 2025). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 15 образцов огурца из Коллекции ВИР.

Коллекция **томата** ВИР включает 8003 образца, в том числе дикорастущие виды – 289, примитивные формы – 371, староместные сорта – 551, селекционные и любительские сорта – 4825, гибриды – 1505, мутантные формы – 49, самоопыленные линии – 118, с идентифицированными генами – 278, доноры – 17 образцов. Особое место в коллекции занимают дикорастущие зеленоплодные несъедобные виды, они служат источниками генов устойчивости к болезням и вредителям, благодаря чему привлекаются для создания нового исходного селекционного материала. Полукультурные мелкоплодные образцы, с различной окраской и формой плода, используются для селекции сортов и гибридов типа «черри». Они отличаются широким разнообразием окраски плодов и множеством вариантов формы, включая сливовидную, грушевидную, удлинненно-овальную, сосульковидную и сильно ребристую. Образцы культурного томата также отличаются значительной изменчивостью и подразделяются на шесть эколого-географических групп, в составе которых выделяют 25 сортоотипов. Основными признаками, по которым они различаются, являются характер роста растений, а также форма и окраска плодов. Ценный исходный материал для селекции томата в России – образцы из Венгрии, которые характеризуются детерминантным типом роста растений, с обыкновенным и часто штамбовым типом куста, с оранжево-красной, иногда розовой окраской плода. Большим разнообразием морфологических и хозяйственно ценных признаков отличаются образцы из Болгарии, детерминантные и индетерминантные, в том числе полукультурные формы. Большинство стародавних сортов томата имеют тип роста от детерминантного до супердетерминантного, с 2-4 соцветиями на главном стебле, красной или оранжево-красной окраской плодов. На современном этапе селекции интерес представляют формы томата с разнообразной окраской плодов. Селек-

ционную ценность имеют образцы с жёлтой, оранжевой, розовой, малиновой, буро-коричневой («чёрной»), зелёной при созревании, двуцветной, пёстрой и антоциановой («фиолетовой») окраской кожицы и мякоти плода. Такая окраска ассоциируется с повышенным содержанием биологически активных веществ. Розовоплодные томаты, которые характеризуются индетерминантным типом куста и крупноплодностью, поступили в коллекцию из Японии и Азии. Основной задачей изучения коллекционного материала томата является выявление пределов и характера изменчивости количественных признаков плодобразования. Наряду с этим особый интерес представляют образцы, характеризующиеся устойчивостью к комплексу заболеваний: макроспориоз, фитофтороз, вертициллез, кладоспориоз, серая гниль плодов, бактериальные пятнистости и бактериальный рак, вирус табачной мозаики, PepMV, TSWV, ToBRFV, а также к галловым нематодам. В открытом грунте наибольшую вредоносность сохраняют фитофтороз, столбур, макроспориоз и другие грибные, бактериальные и вирусные инфекции, причем их значение усиливается на фоне изменения климата. Актуальной задачей остается выявление ценных генотипов для машинной уборки, цельноплодного консервирования, транспортабельности. В селекции используют линии с генами *rin*, *nor*, *alcobaco*, которые придают плодам томата плотность и способствуют их длительному хранению. В ВИР проводится систематизация и усовершенствование ранее созданной классификации широчайшего исходного материала коллекции (Khrapalova, 2021). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 261 образца томата из Коллекции ВИР.

Коллекция культурного вида **перца** *Capsicum annuum* L. составляет 2167 образцов; она представлена местными формами, стародавними сортами различного географического происхождения, гибридными популяциями острого и сладкого. Другие виды перца – *C. frutescens* L., *C. pubescens* L., *C. baccatum* L. – представлены единичными образцами. А.И. Филлов (Filov, 1956) и В.Л. Газенбуш (Gazenbush, 1958) предложили классификации рода *Capsicum*. Согласно результатам современных молекулярно-генетических исследований род *Capsicum* включает 30 видов, пять из них культурных (Bosland, Votava, 2000; Baral, Bosland, 2002; Bosland, 2010). В ходе многолетнего полевого эколого-географического изучения коллекции выделены группы образцов с комплексом хозяйственно-ценных признаков, таких как скороспелость, урожайность, устойчивость к неблагоприятным факторам среды, устойчивость к болезням, мутантов, стерильных форм. Оценка хозяйственно-ценных признаков местного сортамента стран, традиционно возделывающих эту культуру, позволила выявить исходный материал для создания сортов и гибридов салатного назначения, для консервной промышленности и лекарственного сырья (Artemyeva et al., 2018). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров пре-

доставлены материалы 36 образцов перца из Коллекции ВИР.

Коллекция **баклажана** *Solanum melongena* L. включает 830 образцов. Первые поступления образцов в 1925-1929 годах произошли из США и европейских стран, а также из экспедиций на Кавказ, в Среднюю и Малую Азию, Южную Америку, Индию. Они заложили начало коллекции баклажана, всего 178 образцов – 21%. Основная часть коллекции представлена местными и селекционными сортами с плодами различной формы и окраски: в технической спелости от белой, бело-зеленоватой и бело-сиреневой до черно-фиолетовой. Преобладающая окраска мякоти плода обычно зеленоватая или кремовая, формы с белой окраской мякоти встречаются редко. Признак массы плода сильно варьирует в зависимости от сорта и условий выращивания. Современный российский сортимент баклажана имеет широкий диапазон изменчивости признаков качества плода, но только гибриды F<sub>1</sub> характеризуются высокой продуктивностью. В настоящее время новые поступления из экспедиций по РФ и территории сопредельных государств составляют 5-10 образцов ежегодно. Полукультурные и дикорастущие виды баклажана характеризуются наличием шипов и горечи в плодах. Поиск образцов, устойчивых к вертициллезному увяданию, фузариозу, антракнозу, столбур, направлен на привлечение данных видов в селекционную работу (Artemyeva et al., 2018). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 10 образцов баклажана из Коллекции ВИР.

Коллекция **тыквы** ВИР является одной из самых богатых по разнообразию среди генбанков мира и служит ценнейшим фондом исходного материала для развития отечественной селекции этой культуры. Ботанический состав коллекции тыквы представлен пятью видами, 16 подвидами и 71 разновидностью. Она включает 3158 образцов из 99 стран мира. Современная селекция тыквы направлена, прежде всего, на создание сортов и гибридов, адаптированных к условиям внешней среды и устойчивых к болезням, пригодных для машинной уборки, транспортабельных и лежких. Для расширения ареала возделывания и продвижения культуры тыквы в северные районы страны нужны ультраскороспелые сорта. Значимыми являются также и более специфичные направления – создание сортов с высоким содержанием масла, являющегося ценным сырьем для фармакологии, с порционными плодами, с женским типом цветения. Комплексное изучение генофонда тыквы, включающее оценку образцов по многим биологическим и хозяйственно-ценным признакам и свойствам, позволяет выделить источники таких ценных селекционных признаков как кустовой габитус, короткоплетистость, многоплодность, голосемянность, высокое содержание каротина и пектина, устойчивость к мучнистой росе, пероноспорозу и вирусной мозаике, высокий выход семян (Tekhanovich, Elatskova, 2015; Piskunova, Muteva, 2019; Elatskova, 2019; 2021). За последние пять лет по заявкам государственных

селекционных центров предоставлены материалы 69 образцов тыквы из Коллекции ВИР.

**Кабачок и патиссон** являются разновидностями твердокорой тыквы. Коллекция кабачка насчитывает 710 образцов из 62 стран мира, из них селекционные сорта составляют 56%, местные формы – 25%, гибриды и гибридные популяции – 17%, селекционные линии – 2%. Российские образцы, включающие местные формы и селекционные сорта и гибриды, составляют около 15% коллекции. Из зарубежных поступлений преобладают образцы из Испании, Италии, Франции, Нидерландов, США, Турции и Китая. Коллекция патиссона включает 150 образцов из 26 стран мира. Наибольшее число образцов в коллекции патиссона из России – 54% и США – 23%, остальные страны представлены небольшим числом или единичными образцами. Селекционные направления кабачка и патиссона схожи. В качестве исходного материала заслуживают внимания высокоурожайные раннеспелые образцы с устойчивостью к мучнистой росе, пероноспорозу, серой и белой гнилям, вирусной мозаике (Shantasov et al., 2018). Важным направлением для создания высокоурожайных гибридов является использование в качестве материнских форм образцов с преимущественно женским типом цветения. Для продвижения производства кабачка и патиссона в более северные районы ценными признаками являются холодостойкость и склонность к партенокарпическому завязыванию плодов. Заслуживают внимания образцы кабачка типа цуккини, характеризующиеся высокой товарностью, ровными плодами с тонкой кожицей, нежной мякотью и маленькой семенной камерой. Потребителям интересны сорта и гибриды кабачка и патиссона, различающиеся по форме, окраске и рисунку плодов. Для консервной промышленности представляют интерес белоплодные образцы, характеризующиеся толстой плотной мякотью с высоким содержанием сухих веществ. По результатам многолетнего изучения образцов кабачка и патиссона создана признаковая коллекция, включающая источники высокой урожайности, раннеспелости, дружной отдачи урожая, склонности к партенокарпии, с женским типом цветения, мягким опушением стебля и черешка, с относительной устойчивостью к настоящей и ложной мучнистой росе (Piskunova, Muteva, 2016; Piskunova, 2023). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 10 образцов кабачка и 10 образцов патиссона из Коллекции ВИР.

Коллекция **арбуза** *Citrullus* Schrad. составляет 3203 образца, в ней представлены 10 эколого-географических групп столового арбуза, кормовой и цукатный арбуз, а также полукультурные формы и дикорастущие виды. Первые образцы арбуза поступили в коллекцию ВИР в 1921 году из США, Германии, Китая. За 1921-1930 годы собрано 437 (15%) образцов арбуза в ходе экспедиций на Кавказ, в Поволжье, Приморский край, Среднюю и Малую Азию, Африку, Японию. Последующие поступления образцов: 1931-1940 годов – 271 (10%), 1941-1950 –

126 (5%), 1951-1960 – 261 (10%), 1961-1970 – 490 (17%), 1971-1980 – 412 (15%), 1981-2000 – 419 (15%) и 2001-2025 – 394 (14%) – сильно варьировали по объему и качеству материала. В результате полевого изучения образцов арбуза на Астраханской и Кубанской опытных станциях ВИР были выделены источники и доноры ценных признаков для различных направлений селекции (Anisimova et al., 2017; Tekhanovich et al., 2019). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены материалы 80 образцов арбуза.

Коллекция **дыни** включает 3811 образцов, полученных из 77 стран мира. По классификации М.И. Малининой вид *Cucumis melo* L. разделен на пять подвидов, из них подвид культурный (subsp. *melo*) представлен 4 группами разновидностей, объединенных по эколого-географическому принципу и морфологическим различиям (Культурная флора). Наибольшую часть коллекции (75%) составляют местные сорта, 23% – селекционные сорта, 2% – гибриды и гибридные популяции. Современная селекция дыни направлена на создание высокоурожайных сортов и гибридов с комплексной устойчивостью к заболеваниям, высоким вкусовыми качествами, транспортабельностью и лежкостью. Для расширения периода потребления дыни нужны сорта разного срока созревания – ранние, средние и поздние осенне-зимние сорта. Важным направлением селекции дыни является создание кустовых и короткоплетистых сортов для механизированного возделывания и уборки. Коллекция дыни ВИР обладает обширным исходным материалом для решения важнейших селекционных задач. Для селекции на скороспелость, а также для продвижения культуры в более северные районы интересны местные и селекционные сорта разновидностей var. *europaeus* и var. *aestivus*, выращиваемые на юге Европейской части России и Сибири, Алтае и Дальнем Востоке с периодом вегетации 55-65 дней. В селекции на улучшение вкусовых качеств и повышение сахаристости представляют интерес среднеазиатские дыни разновидности амери. Для создания сортов с длительным периодом хранения большое значение имеют образцы из Туркменистана, Узбекистана и Казахстана, относящиеся к разновидности зард. В странах Европы и Японии дыню выращивают в защищенном грунте, используя сорта разновидности канталупа. Ценным исходным материалом являются новые сорта и гибриды дыни из Франции, Нидерландов, Японии и России, созданные для возделывания в защищенном грунте. В результате экспедиционных исследований последних лет в коллекцию поступили местные формы дыни из Армении, Таджикистана и Узбекистана, обладающие комплексом ценных признаков, засухоустойчивые, жаростойкие, пригодные для длительного хранения, с высокими вкусовыми качествами, обусловленными высокой сахаристостью, сочностью и ароматностью мякоти (Varivoda et al., 2020; Piskunova Taipakova, 2020; Kornilova, et al., 2021). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены из Коллекции ВИР материа-

лы 42 образцов дыни.

**Луковые культуры.** Все луковые культуры относятся к ботаническому роду Лук (*Allium* L), семейству Amaryllidaceae. Коллекция начала формироваться с 1928 года и в настоящее время включает 3150 образцов, более 1500 образцов селекционных разных лет создания и более 900 местных образцов-экспедиционных сборов.

**Репчатый лук.** Коллекция насчитывает 1570 образцов. Исследования коллекции проводятся по основным хозяйственно полезным признакам: высокая урожайность, товарность, лежкость, высокое содержание полифенолов и антиоксидантов. Также ведется исследовательская работа по изучению лука репчатого озимого (высокая зимостойкость, товарность луковиц, устойчивость к стрелкованию). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров и научно-исследовательских учреждений предоставлены из коллекции ВИР материалы 281 образца лука репчатого.

**Шалот** – это вегетативно размножаемая культура. Изучение лука шалота включает морфологическое описание, а также характеристику по основным признакам: высокая урожайность и товарность, способность к длительному хранению луковиц (более 10 месяцев). В последние годы организованы исследования по изучению озимых форм лука шалота (Seredin et al., 2023). Проводится анализ биохимического состава луковиц и листьев по основным компонентам: сухое вещество, сахара, нитраты, фотопигменты, полифенолы.

**Лук порей** *Allium porrum* L. – культурное многолетнее травянистое растение – распространен ограниченно по всей территории России, кроме Крайнего Севера. Растения этого вида отличаются высоким содержанием углеводов, минеральных солей, витаминов и каротина. Основным очагом происхождения лука порея являются восточные области Средиземноморья. В основу внутривидовой классификации порея (Kazakova, 1978) положен эколого-географический принцип – типовой подвид *subsp. porrum* и малоазиатский *subsp. anatolicum*.

В настоящее время перспективными направлениями селекции лука порея являются: высокая зимостойкость, пригодность для хранения и переработки, в том числе для заморозки и сушки, а также способность давать семена на второй год после посева. Мировая коллекция лука порея ВИР, включающая более 400 образцов, является основным источником исходного материала для селекции в России (Seredin et al., 2018).

Для селекционных центров, ведущих создание зимостойких сортов лука порея ВИР может предложить источники очень высокой – 100% – ‘Prasa’ (к-2244, Турция) и ‘Blaugrune Winter’ (к-2403, Нидерланды) и высокой – 87% – ‘Herbststreusen’ (к-2270, Нидерланды) зимостойкости. По пригодности для заморозки и сушки предлагаются материалы образцов ‘Monstruoso di Carentan’ (к-2248, Италия), ‘Empire K-7’ (к-2350, Франция). Следует отметить, что за последние пять лет заявки из государственных

селекционных центров на материалы образцов из коллекции лука порея не поступали.

**Чеснок озимый.** Коллекция чеснока составляет более 600 образцов, представлена в основном отечественными сортами и местными формами из России, а также из 10 стран Европы и Азии. Коллекция чеснока поддерживается в живом виде на двух станциях ВИР (Майкопская и Екатерининская ОС). Исследования коллекции направлены на оценку и выделение коллекционного материала по уровню зимостойкости и устойчивости к болезням (фузариоз, пенициллез, белая гниль) и вредителям (нематода), а также способности к длительному хранению. В задачи исследований входит оценка воздушных луковичек (бульбочек) по массе соцветия и числу бульбочек в соцветии, а также крупность последних. Проводится изучение биохимического состава по основным показателям: сухое вещество, витамин С, сумма сахаров, моносахара, полифенолы и антиоксиданты. Получен ценный исходный материал для перспективных направлений селекции чеснока: создание высокоурожайных сортов (10-12 т/га), высокая товарность, на качество продукции (накопление макро и микро элементов), наличие белой окраски покровных чешуек луковиц (с переработкой на чесночный порошок), селекция на крупность зубков (для переработки на чесночную пасту) (Seredin et al., 2024). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены из Коллекции ВИР материалы 10 образцов чеснока.

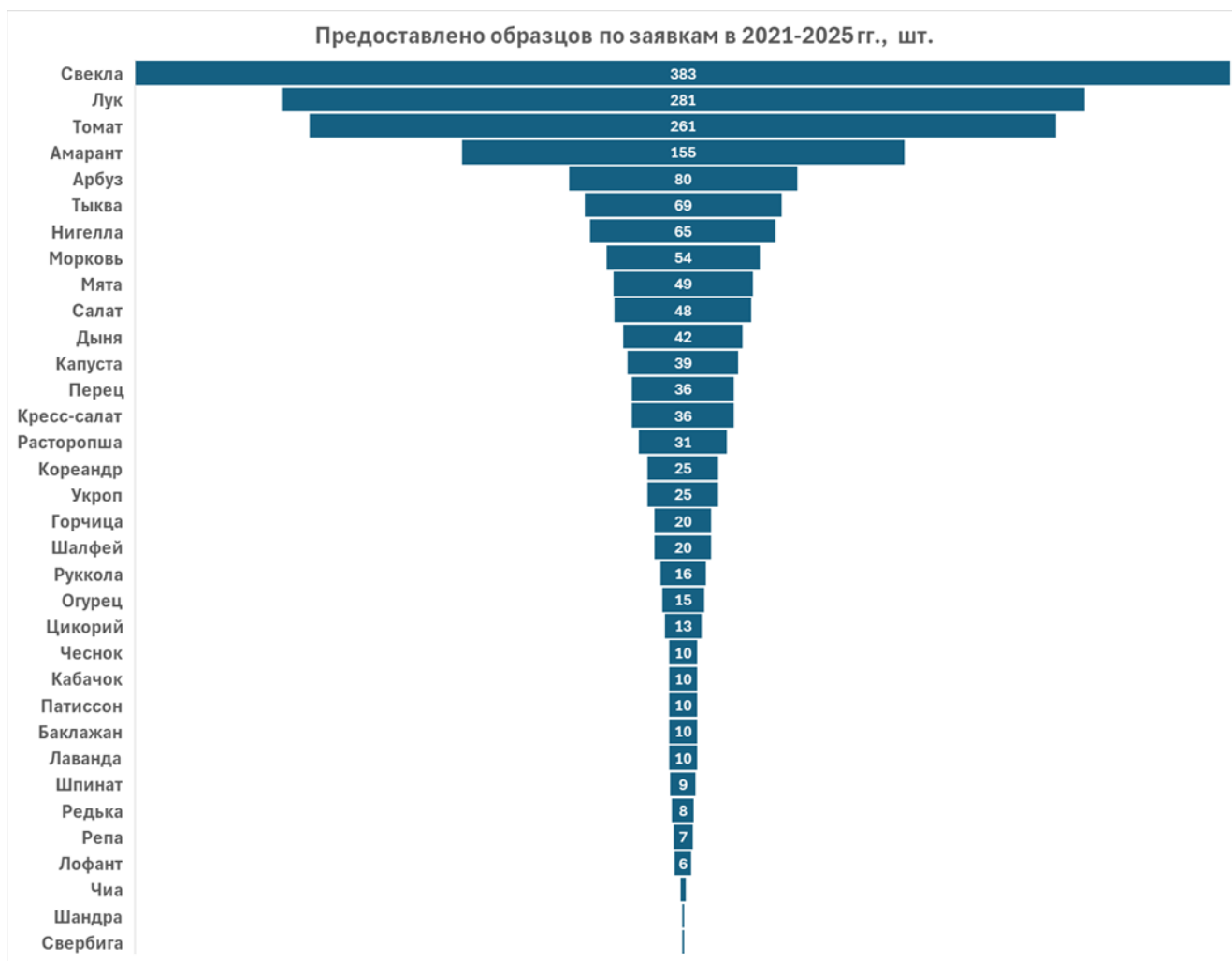
**Свекла.** Коллекция рода *Beta* L. насчитывает 2422 образца, представлена сахарной, кормовой, листовой столовой свеклой, а также дикими видами. Богатые по морфологическому разнообразию коллекции столовой и кормовой свеклы включают около 950 образцов различного происхождения (Sokolova, 2022b). В ВИР создается ценный исходный материал для новых направлений селекции свеклы: отдельноплодные и нецветущие формы, самофертильные, стерильные линии, устойчивые к болезням. Создана коллекция и проводится изучение малораспространенной в России культуры – мангольда (листовой свеклы). Окраска надземных органов у листовой свеклы очень разнообразна. Сочетание различных размеров, окрасок и форм листьев и черешков придают растению высокую декоративность и позволяют широко использовать культуру в городском озеленении. Скрининг коллекции выявил высокую питательную ценность мангольдов: содержание аскорбиновой кислоты в черешках мангольда на 30% превышает ее содержание в корнеплодах столовой свеклы, а содержание белка – на 54% (Sokolova et al., 2019). В условиях импортозамещения возникла необходимость наладить получение отечественного натурального красителя бордового цвета E162. Столовая свекла отличается бордово-малиновым цветом мякоти, что объясняется наличием в ней красящих пигментов – беталаинов, основным из которых является бетанин. В ВИР проводится комплексное эколого-географическое изуче-

ние темноокрашенных образцов коллекции, определение динамики накопления пигмента (Sokolova, 2022a), изучаются аллельные различия ключевых генов биосинтеза беталаинов у контрастных по окраске корнеплода образцов свеклы столовой (Mikhailova et al., 2024). Путем рекуррентной селекции создается линейный материал с повышенным содержанием бетанина, найдена взаимосвязь морфологических, фенологических и других признаков растений с содержанием пигмента, изучается воздействие почвенно-климатических условий на содержание пигмента. Переход к индустриальным способам выращивания требует внедрения новых сортов и гибридов, обладающих пластичностью и стабильностью. Оценка урожайности во взаимодействии генотип-среда нового селекционного материала в различных почвенно-климатических зонах РФ позволяет выявлять источники адаптивности и высокой урожайности столовой свеклы (Sokolova, 2018) и рекомендовать их для включения в селекционные программы. За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров и научно-исследовательских учреждений предоставлены из Коллекции ВИР материалы 346 образцов свеклы. Кроме того, для реализации комплексного научно-технического проекта «Организация системы производства и коммерциализации отечественных гибридов сахарной свеклы, созданных в соответствии с современными требованиями рынка», отобранного Министерством сельского хозяйства Российской Федерации для участия в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства Российской Федерации на 2017-2030 годы, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 25.08.2017 № 996, в рамках подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства сахарной свеклы в Российской Федерации» предоставлены материалы 37 образцов свеклы компании ООО «СоюзСемСвекла» (рисунок).

**Шпинат.** Коллекция рода *Spinacia* L. ВИР на сегодняшний день является самой большой в мире и насчитывает 748 образцов. Представлена тремя известными видами, из которых один культурный *S. oleracea* L. и два дикорастущие: *S. tetrandra* Stev. и *S. turkestanica* Ljlin. Шпинат – экономически значимый листовая овощ, широко возделываемый по всему миру. До 90% мирового производства приходится на Китай, Индонезию и США. Доместикация этой древней культуры началась около 2000 лет назад. Предположительно очагом одомашнивания являлась Персия (Иран), откуда в дальнейшем шпинат распространился на территорию Китая и позже по всему миру. Первые экземпляры шпината поступили в коллекцию в 1934 году от ученых-селекционеров из Германии и Японии, а также от европейских селекционных компаний. В результате экспедиционных сборов коллекция пополнялась местными популяциями из Малой Азии и Афганистана. В коллекции собрано мировое разнообразие генотипов из 49 стран. Образцы представлены двумя подвидами: восточный включает две разновидности: полукультурный (var. *subspontanea*) и раскидистый

(var. *patula*) шпинат, западный – морщинистостебельный (var. *rugosa*) и пузырчатостебельный (var. *bullata*). В каждой разновидности выделены сортоотипы шпината. Изучению потенциала генетических ресурсов шпината в ВИР уделяется большое внимание, создаются признаковые коллекции по ключевым селекционным признакам. Преимуществом скороспелой листовой культуры шпината является возможность его конвейерного выращивания в любое время года в защищенном грунте и с апреля по октябрь – в открытом. На опытных станциях ВИР проводятся эколого-географические испытания для идентификации урожайных образцов в конкретных условиях среды. Холодостойкость шпината изучают в условиях Полярной опытной станции ВИР. Особенностью биологии развития шпината является ранний переход в генеративную фазу в условиях длинного дня. В связи с этим, одно из направлений исследований – установление продолжительности фаз онтогенеза, идентификация фотопериодически нечувствительных генотипов. Отмечено, что более устойчивыми к раннему стрелкованию являются образцы западного подвида американского и европейского происхождения: сортоотипы Нобель, Датский, Северный и Блюмсдельский. Местные сорта и популяции восточного подвида характеризуются склонностью к раннему стрелкованию. Шпинат – преимущественно двудомный вид, реже встречаются однодомные и промежуточные биотипы. У шпината выражена склонность к реверсии пола. Изучение коллекции по признаку полового диморфизма показало, что для генотипов восточного подвида характерны двудомные формы, однодомные чаще встречаются у западного подвида. Выявлена общая тенденция увеличения в популяциях гиноэцичных фенотипов с уменьшением длины светового дня. (Kiselev, Sokolova, 2025). Использование шпината в питании тесно связано с его биохимическим составом. Поэтому большое внимание уделяется изучению полиморфизма генотипов коллекции по содержанию в листовой биомассе первичных и вторичных метаболитов, нитратов, лютеина, антиоксидантной активности (Sokolova, Solovieva, 2023). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров предоставлены из Коллекции ВИР материалы девяти образцов шпината.

**Амарант.** Коллекция амаранта *Amaranthus* L. ВИР на сегодняшний день включает 557 образцов из различных стран мира, и по своей уникальности не имеет мировых аналогов. Включает местные популяции, селекционные сорта и дикие виды. Пополняется на протяжении 70 лет за счет экспедиций, поступлений из научно-исследовательских институтов, ботанических садов, генбанков и опытных селекционных станций. Значительную долю (80%) коллекции составляют образцы видов *A. cruentus*, *A. hypochondriacus*, *A. caudatus*, *A. hybridus* и *A. tricolor* (Sokolova et al., 2024). В нашей стране амарант стремительно набирает популярность, ему уделяется пристальное внимание в сфере науки, медицины и производства. Это объясняется многогранным способом его использования, уникальным биохимическим составом и терапев-



**Рисунок. Образцы, предоставленные ВИР по заявкам в 2021-2025 годах**

**Figure. Accessions provided by VIR for applications in 2021-2025**

тическим потенциалом. Широкий диапазон генетической изменчивости амаранта создает предпосылки для успешной селекционной работы традиционными и современными методами. Комплексное изучение коллекционных образцов амаранта в ВИР включает оценку хозяйственно-ценных признаков, биохимического состава листовой биомассы и семян разных видов, морфометрических показателей, определение направлений использования (Sokolova et al., 2021). Материалы коллекции используются для полногеномного секвенирования. В результате многолетних исследований на основе коллекции амаранта ВИР сформированы признаковые коллекции генотипов с высокой урожайностью семян, листовой биомассы, с повышенным содержанием белка и масла в семенах, низкорослые, скороспелые и холодостойкие, устойчивые к осыпанию семян, овощного и декоративного направления использования (Sokolova, 2025; Sokolova et al., 2026). Создаются новые линейные материалы, сорта, проводится изучение видовых карiotипических различий, разра-

батываются калибровочные модели для экспресс-оценки хозяйственно ценных признаков семян с помощью спектроскопии (Amosova et al., 2024; Shelenga et al., 2025). На сорт селекции ВИР «Франт» (*Amaranthus cruentus* L.) в соответствии с требованиями Международного кодекса номенклатуры культурных растений в 2024 году оформлен и зарегистрирован номенклатурный стандарт (Sokolova, Chukhina, 2024). За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров и научно-исследовательских учреждений предоставлены из Коллекции ВИР материалы 155 образцов амаранта.

**Малораспространенные, пряно-вкусовые и лекарственные культуры.** Коллекция малораспространенных культур начала формироваться в 1930-х годах, и первыми поступившими культурами были щавель и спаржа, в настоящее время коллекция насчитывает около 5000 образцов. Коллекция включает ароматические культуры, редкие листовые овощи, редкие корнеплоды, группу многолетних овощных культур и лекарственные растения.

Наиболее широко представлены семейства Губоцветные (Lamiaceae) (27,4%) и Сложноцветные (Asteraceae) (17%). В последние годы коллекция активно пополняется местными сортами-популяциями зеленных и ароматических культур, таких как базилик, чабер, кресс-салат и эстрагон, собранными в ходе экспедиций по регионам России. Особую ценность представляют образцы, собранные в Средней и Центральной Азии и в Закавказье. Коллекция также пополняется современными селекционными сортами руколы, лаванды, базилика и эндивия из России, Германии, Нидерландов, Румынии и Вьетнама (Kurina et al., 2023b). Исследования коллекции проводятся с 1930-х годов и сосредоточены на оценке фенологических и морфологических признаков, биохимических показателей, физиологии растений, методах селекции и семеноводства, агротехнике возделывания. Изучаются редкие для большинства регионов России культуры, такие как кориандр, кресс-салат, эндивий и витлуф, спаржа, ревень, чабер, бамя, скорцонера, Melissa, а также традиционные культуры – щавель и хрен. В последние годы активно проводятся исследования морфологических, фенологических и биохимических признаков образцов коллекции, в частности кресс-салата и руколы в различных условиях выращивания (открытый грунт, теплицы, светокультура), эколого-географические исследования базилика, корневого цикория, зверобоя и нигеллы, биохимический анализ мяты, нигеллы, эндивия, базилика, съедобной хризантемы, кориандра, малабарского шпината и зверобоя (Kurina et al., 2023a; 2024; Kurina, Solovyeva, 2024; Masechko et al., 2024; Kurina et al., 2025a; 2025b).

За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров и научно-исследовательских учреждений предоставлены из Коллекции ВИР материалы образцов нигеллы (тмин черный) – 65, мяты – 49, кресс-салата – 36, расторопши – 31, кориандра – 25, укропа – 25, горчицы и шалфея – по 20, рукколы – 16, цикория – 13, лаванды – 10, лобелии – 6, чиа – два, шандры и свербики – по одному.

## Заключение

Изучение генетических ресурсов овощных и бахчевых культур коллекции ВИР, направленное на получение новых знаний, выделение генетических источников и доноров ценных признаков, предопределяет их эффективное использование для реализации стратегических и практических задач российской селекции и растениеводства. Комплексное изучение образцов позволяет структурировать активные коллекции овощных и бахчевых культур, пополнять признаковые коллекции новыми образцами, источниками важнейших ценных признаков и предлагать их пользователям коллекции ВИР. За последние пять лет по заявкам государственных селекционных центров и научно-исследовательских учреждений, а также организаций-участников Федеральной научной программы развития сельского хозяйства

Российской Федерации на 2017-2030 годы были предоставлены материалы 1847 образцов овощных, бахчевых, а также малораспространенных, пряно-вкусовых и лекарственных культур (см. рисунок).

## References/Литература

- Amosova A.V., Yurkevich O.Yu., Semenov A.R., Samatadze T.E., Sokolova D.V., Artemyeva A.M., Zoshchuk S.A., Muravenko O.V. Genome studies in *Amaranthus cruentus* L. and *A. hypochondriacus* L. based on repeatomic and cytogenetic data. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(24):13575. DOI: 10.3390/ijms252413575
- Anisimova I.N., Blinova E.V., GavriloVA V.A., Elatskov Yu.A., Elatskova A.G., Eremin G.V., Zveinek I.A., Zoteeva N.M., Kiru S.D., Kolesova M.A., Kobylansky V.D., Koshkin V.A., Kuznetsova T.L., Loskutov I.G., Malinovskaya E.V., Pyzhenkova Z.S., Radchenko E.E., Rigin B.V., Rozhkova V.T., Safonova I.V., Solodukhina O.V., Tekhanovich G.A., Tyryshkin L.G., Yakovleva O.V. Passports of donors of breeding values of agricultural crops (created in 2012-2015). Issue 22. Wheat, rye, oats, barley, sorghum, sunflower, potato, watermelon, plum (Pasporta donorov selektsionno tsennykh priznakov sel'skokhozyaystvennykh kul'tur (sozdannykh v 2012-2015 gg.). Вып. 22. Pshenitsa, rozh', oves, yachmen', sorgo, podsolnechnik, kartofel', arbuz, sliva). St. Petersburg: VIR; 2017. [in Russian] (Анисимова И.Н., Блинова Е.В., Гаврилова В.А., Елацков Ю.А., Елацкова А.Г., Еремин Г.В., Звейнек И.А., Зотеева Н.М., Киру С.Д., Колесова М.А., Кобылянский В.Д., Кошкин В.А., Кузнецова Т.Л., Лоскутов И.Г., Малиновская Е.В., Пыженкова З.С., Радченко Е.Е., Ригин Б.В., Рожкова В.Т., Сафонова И.В., Солодухина О.В., Теханович Г.А., Тырышкин Л.Г., Яковлева О.В. Паспорта доноров селекционно ценных признаков сельскохозяйственных культур (созданных в 2012-2015 гг.). Вып. 22. Пшеница, рожь, овес, ячмень, сорго, подсолнечник, картофель, арбуз, слива. Санкт-Петербург: ВИР; 2017).
- Artemyeva A.M. Genetic sources for forage kale breeding. *Kormoproizvodstvo*. 2021a;(3):25-31. [in Russian] (Артемьева А.М. Генетические источники для селекции листовой капусты на кормовые цели. *Кормопроизводство*. 2021a;(3):25-31).
- Artemyeva A.M., Dubovskaya A.G., Kon'kova N.G. The Russian Brassicaceae collection – from N.I. Vavilov and E.N. Sinskaya till nowadays. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):787-794. DOI: 10.18699/VJ19.553
- Artemyeva A.M., Gashkova I.V., Piskunova T.M., Khmelinskaya T.V., Solovyeva A.E., Shelenga T.V., Ermolaeva L.V., Mut'eva Z.F., Litvinova T.V., Strizhak T.V., Taypakova A.A., Kurina A.B. Catalogue of the VIR global collection. Issue 857. Local varieties of vegetable and melon crops: cabbage, carrots, small radish, radish, pepper, cucumber, eggplant, pumpkin, watermelon (Вып. 857. Mestnyye sorta ovoshchnykh i bakhchevykh kul'tur: kapusta, morkov', redis, red'ka, perets, ogurets, baklazhan, tykva, arbuz). St. Petersburg: VIR; 2018. [in Russian] (Артемьева А.М., Гашкова И.В., Пискунова Т.М., Хмелинская Т.В., Соловьёва А.Е., Шеленга Т.В., Ермолаева Л.В., Мутьева З.Ф., Литвинова Т.В., Стрижак Т.В., Тайпакова А.А., Курина А.Б. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 857. Местные сорта овощных и бахчевых культур: капуста, морковь, редис, редька, перец, огурец, баклажан, тыква, арбуз. Санкт-Петербург; 2018).
- Artemyeva A.M., Kurina A.B. Eco-geographical and botanical patterns of resistance to Lepidoptera insects in *Brassica rapa* L. *Plants*. 2024;13(5):673. DOI: 10.3390/plants13050673
- Artemyeva A.M., Sinyavina N.G., Panova G.G., Chesnokov Yu.V. Biological features of *Brassica rapa* L. vegetable leafy crops when growing in an intensive light culture. *Agricultural biology*. 2021b;56(1):103-120. [in Russian] (Артемьева А.М., Сиявина Н.Г., Панова Г.Г., Чесноков Ю.В. Биологические

- особенности капустных овощных культур вида *Brassica rapa* L. при выращивании в интенсивной светокультуре. *Сельскохозяйственная биология*. 2021b;56(1):103-120. DOI: 10.15389/agrobiol.2021.1.103rus
- Baral J.B., Bosland P.W. An updated synthesis of the *Capsicum* genus. *Capsicum and Eggplant Newsletter*. 2002;21:11-21.
- Bosland P.W. An American in Spain. In: *Advances in Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant: Proceedings of the XIVth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum and Eggplant; 2010 August 30 – September 1; Valencia, Spain*. Valencia, Spain: Editorial Universidad Politécnica de Valencia; 2010. p.21-25.
- Bosland P.W., Votava E.J. Peppers: Vegetable and spice *Capsicum*. Wallingford: CABI Publishing; 2000.
- Burenin V.I., Sokolova D.V., Shumilina V.V. Germplasm collection of rutabaga: study and prospect for use. *Vegetable crops of Russia*. 2017;(1):17-21. [in Russian] (Буренин В.И., Соколова Д.В., Шумилина В.В. Генофонд для селекции брюквы: изучение и перспективы использования. *Овощи России*. 2017;(1):17-21). DOI: 10.18619/2072-9146-2017-1-17-21
- Elatskova A.G. Diversity of the pumpkin collection and its hereditary potential. Results and prospects of breeding practice. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):77-82. [in Russian] (Елацкова А.Г. Разнообразие коллекции тыквы и ее наследственный потенциал. Результаты и перспективы селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):77-82). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-77-82.
- Elatskova A.G. Identification and development of source material for breeding early bushy and short-vined cultivars of *Cucurbita moschata* Duch. ex Poir. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(3):143-150. [in Russian] (Елацкова А.Г. Выявление и создание исходного материала для селекции раннеспелых кустовых и короткоплестистых сортов мускатной тыквы (*Cucurbita moschata* Duch. ex Poir.). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(3):143-150). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-3-143-150
- Ermolaeva L.V., Khmelinskaya T.V. Parent material for the selection of good-keeper carrot varieties. *Agrarian Russia*. 2022;(5):24-28. [in Russian] (Ермолаева Л.В., Хмелинская Т.В. Исходный материал для селекции лежких сортов моркови. *Аграрная Россия*. 2022;(5):24-28). DOI: 10.30906/1999-5636-2022-5-24-28
- Filov A.I. Pepper and eggplants (Pertsy i baklazhany). Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1956. [in Russian] (Филов А.И. Перцы и баклажаны. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1956).
- Girenko M.M., Korovina O.N. (eds). Flora of cultivated plants. Vol. 12. Leaves vegetable plants: (asparagus, rhubarb, sorrel, spinach, purslane, garden cress, dill, chicory, lettuce). Leningrad: Agropromizdat, Leningrad branch; 1988. [in Russian] (Культурная флора СССР. Т. 12. Листовые овощные растения: (спаржа, ревен, щавель, шпинат, портулак, кресс-салат, укроп, цикорий, салат) / ред.: М.М. Гиренко, О.Н. Коровина. Ленинград: Агропромиздат, Ленинградское отделение; 1988).
- Gazenbush V.L. Pepper – *Capsicum* Tourn. In: D.D. Brezhnev (ed.). *Flora of cultivated plants. Vol. 20. Vegetable plants fam. Solanaceae*. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz; 1958. p.394-487. [in Russian] (Газенбуш В.Л. Перец – *Capsicum* Tourn. *Культурная флора СССР*. Москва; Ленинград: Сельхозгиз; 1958. Т. 20: Овощные пасленовые / ред. Д.Д. Брежнев. С.394-487).
- Kazakova A.A. Flora of cultivated plants. Vol. 10. *Allium*. P.M. Zhukovsky, O.N. Korovina (eds). Leningrad: Kolos, Leningrad branch; 1978. [in Russian] (Казакова А.А. Культурная флора СССР. Т. 10. Лук / ред.: П.М. Жуковский, О.Н. Коровина. Ленинград: Колос, Ленинградское отделение; 1978).
- Khrapalova I.A. System genus *Lycopersicon* (Tourn.) Mill. and identification of collections tomato VIR. *News of FSVC*. 2021;(1-2):101-108. [in Russian] (Храпалова И.А. Система рода *Lycopersicon* (Tourn.) Mill. и идентификация коллекции томата ВИР. *Известия ФНЦО*. 2021;(1-2):101-108). DOI: 10.18619/2658-4832-2021-1-2-101-108
- Kiselev E.G., Sokolova D.V. Potential of the VIR spinach collection for use in breeding. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(2):36-44. [in Russian] (Киселев Е.Г., Соколова Д.В. Потенциал коллекции шпината ВИР для использования в селекции. *Овощи России*. 2025;(2):36-44). DOI: 10.18619/2072-9146-2025-2-36-44
- Kornilova M.S., Suslova V.A., Verbitskaya L.N. New source material for the creation of perspective varieties of melon. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(5):22-26. [in Russian] (Корнилова М.С., Сулова В.А., Вербицкая Л.Н. Новый исходный материал для создания перспективных сортов дыни. *Овощи России*. 2021;(5):22-26). DOI: 10.18619/2072-9146-2021-5-22-26
- Korotseva I.B., Khimich G.A. Main trends and challenges in breeding of pumpkin crops. *Vegetable crops of Russia*. 2013;(2):17-21. [in Russian] (Коротцева И.Б., Химич Г.А. Основные направления и задачи селекции тыквенных культур. *Овощи России*. 2013;(2):17-21). DOI: 10.18619/2072-9146-2013-2-17-21
- Kurina A.B., Aslanova A.A., Solovyeva A.E. Comparative analysis of biochemical composition of the VIR wild and cultivated *Hypericum perforatum* L. accessions. *Agrophysics*. 2025a;(3):30-37. [in Russian] (Курина А.Б., Асланова А.А., Соловьева А.Е. Сравнительный анализ биохимического состава дикорастущих и селекционных образцов *Hypericum perforatum* L. коллекции ВИР. *Агрофизика*. 2025a;(3):30-37). DOI: 10.25695/AGRPH.2025.03.04
- Kurina A.B., Shelenga T.V., Khmelinskaya T.V., Solovyeva A.E. The component composition of essential oil of *Coriandrum sativum* L. fruits from the VIR collection. *Vegetable crops of Russia*. 2025b;(5):67-72. [in Russian] (Курина А.Б., Шеленга Т.В., Хмелинская Т.В., Соловьева А.Е. Компонентный состав эфирного масла плодов *Coriandrum sativum* L. из коллекции ВИР. *Овощи России*. 2025b;(5):67-72). DOI: 10.18619/2072-9146-2025-5-67-72
- Kurina A.B., Smirnova I.V., Solovieva A.E. Variability of sugar content of the VIR root chicory collection under different sites cultivation. *Acta Horticulturae*. 2024;1391:291-296. DOI: 10.17660/ActaHortic.2024.1391.40
- Kurina A.B., Solovyeva A.E. Bioactive compounds in medicinal and aromatic plants from the VIR collection. In: *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*. St. Petersburg: VIR; 2024. p.375-376. [in Russian] (Курина А.Б., Соловьева А.Е. Биологически активные вещества пряно-ароматических и лекарственных растений коллекции ВИР. В кн.: *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; 05-09 ноября 2024 г.; Санкт-Петербург, Россия*. Санкт-Петербург: ВИР; 2024. С.375-376).
- Kurina A.B., Zheleznova K.O., Solovieva A.E., Sinyavina N.G., Panova G.G., Artemyeva A.M. Morphological and biochemical variability of VIR garden cress (*Lepidium sativum* L.) collection under intensive light culture. *Agricultural Biology*. 2023a;58(5):889-901. [in Russian] (Курина А.Б., Железнова К.О., Соловьева А.Е., Синявина Н.Г., Панова Г.Г., Артемьева А.М. Изменчивость морфологических и биохимических признаков кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) из коллекции ВИР в условиях интенсивной светокультуры. *Сельскохозяйственная биология*. 2023a;58(5):889-901). DOI: 10.15389/agrobiol.2023.5.889rus
- Kurina A.B., Zvereva O.A., Artemyeva A.M. Aromatic and medicinal plants gene pool from the VIR collection: diversity and potential. *Acta Horticulturae*. 2023b;1358. DOI: 10.17660/ActaHortic.2023.1358.1
- Les plantes potagères. Description et culture des principaux légumes des climats tempérés. Ire édition. Paris: Vilmorin-Andrieux & Cie; 1883. [in French]
- Lizgunova T.V. Flora of cultivated plants. Vol. 11. Cabbage. D.D. Brezhnev, O.N. Korovina (eds). Leningrad: Kolos, Leningrad branch; 1984. [in Russian] (Лизгунова Т.В. Культурная флора СССР. Т. 11. Капуста / ред.: Д.Д. Брежнев, О.Н. Коровина. Ленинград: Колос, Ленинградское отделение; 1984).

- Masechko Ya.Ya., Solovyeva A.E., Kurina A.B. Pigment composition of the VIR mint (*Mentha L.*) collection. In: *Achievements and Prospects for the Development of New Herbal Medicinal Products: Collection of materials from the International Conference; 2024 June 06-07; Moscow, Russia.* Moscow; 2024. p.364-369. [in Russian] (Масечко Я.Я., Соловьева А.Е., Курина А.Б. Пигментный состав мяты (*Mentha L.*) коллекции ВИР. В кн.: *Достижения и перспективы создания новых лекарственных средств растительного происхождения: сборник материалов Международной конференции; 06-07 июня 2024 г.; Москва, Россия.* Москва; 2024. С.364-369).
- Mikhailova A.S., Sokolova D.V., Shvachko N.A., Popov V.S., Khlestkina E.K. Allelic differences in the key genes of betalain biosynthesis in table beet accessions with contrasting root color from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2024;185(1):139-151. [in Russian] (Михайлова А.С., Соколова Д.В., Швачко Н.А., Попов В.С., Хлесткина Е.К. Аллельные различия ключевых генов биосинтеза беталаинов у контрастных по окраске корнеплода образцов свеклы столовой коллекции ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2024;185(1):139-151). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-139-151
- Ogudin G.S., Kornukhin D.L., Artemyeva A.M. Chinese cabbage assessment reaction to black rot *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson infection. *Vegetable crops of Russia.* 2025;(4):132-139. [in Russian] (Огудин Г.С., Корнухин Д.Л., Артемьева А.М. Оценка реакции капусты пекинской на заражение сосудистым бактериозом *Xanthomonas campestris* (Pammel) Dowson. *Овощи России.* 2025;(4):132-139). DOI: 10.18619/2072-9146-2025-4-132-139
- Piskunova T.M. Field evaluation of resistance to peronosporosis of summer squash samples of VIR collection. *Agrophysica.* 2023;(3):17-23. [in Russian] (Пискунова Т.М. Полевая оценка устойчивости к пероноспорозу образцов кабачка коллекции ВИР. *Агрофизика.* 2023;(3):17-23). DOI: 10.25695/AGRPH.2023.03.03
- Piskunova T.M. World collection of cucumber VIR is a source of valuable new initial material for breeding. *Agrophysica.* 2025;(2):1-9. [in Russian] (Пискунова Т.М. Мировая коллекция огурца ВИР – источник нового ценного исходного материала для селекции. *Агрофизика.* 2025;(2):1-9). DOI: 10.25695/AGRPH.2025.02.01
- Piskunova T.M., Muteva Z.F. The VIR collection – a source of initial breeding material for the perspective directions of breeding of a vegetable marrow and pumpkin. *Vegetable crops of Russia.* 2016;(3):18-23. [in Russian] (Пискунова Т.М., Мутьева З.Ф. Коллекция ВИР – источник исходного материала для перспективных направлений селекции кабачка и тыквы. *Овощи России.* 2016;(3):18-23). DOI: 10.18619/2072-9146-2016-3-18-23
- Piskunova T.M., Muteva Z.F. Catalogue of the VIR global collection. Issue 894. Pumpkin: Source material to be used in breeding for earliness, high yield and produce quality. St. Petersburg: VIR; 2019. [in Russian] (Пискунова Т.М., Мутьева З.Ф. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 894. Тыква: исходный материал для селекции на раннеспелость, урожайность и качество продукции. Санкт-Петербург: ВИР; 2019).
- Piskunova T.M., Taipakova A.A. Evaluation of samples of melon crops from the VIR collection for early maturity, productivity, and taste. *Agrarian Russia.* 2020;(3):8-12. [in Russian] (Пискунова Т.М., Тайпакова А.А. Оценка образцов бахчевых культур коллекции ВИР по раннеспелости, продуктивности и вкусовым качествам. *Аграрная Россия.* 2020;(3):8-12). DOI: 10.30906/1999-5636-2020-3-8-12
- Pyzhenkov V.I., Malinina M.I. Flora of cultivated plants. Vol. 21. Cucurbitaceae (*Cucumis sativus L., Cucumis melo L.*). V.I. Pyzhenkov (ed.). Moscow: Kolos; 1994. [in Russian] (Пыженков В.И., Малинина М.И. Культурная флора. Т. 21. Тыквенные (огурец, дыня) / ред. т.: В.И. Пыженков. Москва: Колос; 1994).
- Rubatzky V.E., Quiros C.F., Simon P.W. Carrots and related vegetable *Umbelliferae*. V.I. Leunov (translation from English, foreword and ed.). Moscow: KMK Scientific Press; 2007. [in Russian] (Рубацкий В.Е., Кирос К.Ф., Саймон Ф.В. Морковь и другие овощные культуры семейства зонтичных / пер. с англ., предисл. и ред. В.И. Леунова. Москва: Товарищество научных изданий КМК; 2007).
- Sazonova L.V., Vlasova E.A. Root plants: carrots, celery, parsley, parsnip, radish, radish (Корнеплодные растения: морковь, сельдерей, петрушка, пастернак, редис, редька). Leningrad: Agropromizdat; 1990. [in Russian] (Сазонова Л.В., Власова Э.А. Корнеплодные растения: морковь, сельдерей, петрушка, пастернак, редис, редька. Ленинград: Агропромиздат; 1990).
- Seredin T.M., Khaustova N.A., Goncharov A.V., Shumilina V.V., Shevchenko T.E. Evaluation and isolation of source material for winter shallot forms (Otsenka i vydeleniye iskhodnogo materiala ozimikh form luka shalota). In: *Science and Culture: Research and Discoveries: Proceedings of the 17th International Scientific and Practical Conference (Nauka i kul'tura: poiski i otkrytiya: materialy KHVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii); 2023 November 10; Balashikha, Russia.* Balashikha; 2023. p.179-182. [in Russian] (Середин Т.М., Хаустова Н.А., Гончаров А.В., Шумилина В.В., Шевченко Т.Е. Оценка и выделение исходного материала озимых форм лука шалота. В кн.: *Наука и культура: поиски и открытия: материалы XVII Международной научно-практической конференции; 10 ноября 2023 г.; Балашиха, Россия.* Балашиха; 2023. С.179-182).
- Seredin T.M., Soldatenko A.V., Baranova E.V., Shumilina V.V. Assessment of collection nursery of leek (*Allium porrum L.*) for selection on steadily low level of accumulation of radionuclides. *Vegetable crops of Russia.* 2018;(4):33-35. [in Russian] (Середин Т.М., Солдатенко А.В., Баранова Е.В., Шумилина В.В. Оценка коллекционного питомника лука порея (*Allium porrum L.*) для селекции на стабильно низкий уровень накопления радионуклидов. *Овощи России.* 2018;(4):33-35). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-3-4-33-35
- Seredin T.M., Zharkova S.V., Shumilina V.V., Frolova S.L. Main directions and results of winter garlic breeding (*Allium sativum L.*). In: *Agrarian science – for agriculture: Collection of materials of the XIX International scientific and practical conference (Agrarnaya nauka - sel'skomu khozyaystvu: sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii); in 2 books; 2024 February 8-9; Barnaul, Russia.* Barnaul; 2024. p.237-239. [in Russian] (Середин Т.М., Жаркова С.В., Шумилина В.В., Фролова С.Л. Основные направления и результаты селекции чеснока озимого (*Allium sativum L.*). В кн.: *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции: в 2 кн.; 08-09 февраля 2024 г.; Барнаул, Россия.* Барнаул; 2024. С.237-239). URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_65355972\\_76377694.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_65355972_76377694.pdf) [дата обращения: 24.10.2025].
- Shabalina M.A. Turnip, rutabaga, and turnips (Repa, bryukva, turneps). Leningrad: Kolos, Leningrad branch; 1974. [in Russian] (Шебалина М.А. Репа, брюква, турнепс. Ленинград: Колос, Ленинградское отделение; 1974).
- Shantasov A.M., Sokolov S.D., Bochamnikov A.N., Sokolov A.S., Izmukhambetova N.G., Nugmanova Zh.R. Promising directions in selection of marrow. *Vegetable crops of Russia.* 2018;(2):24-27. [in Russian] (Шантасов А.М., Соколов С.Д., Бочарников А.Н., Соколов А.С., Измухамбетова Н.Г., Нугманова Ж.Р. Перспективные направления в селекции кабачка. *Овощи России.* 2018;(2):24-27). DOI: 10.18619/2072-9146-2018-1-24-27
- Shelenga T.V., Solovyeva A.E., Sokolova D.V., Vasipov V.V., Smolenskaya A.E., Popov V.S. Rapid assessment of biochemical indicators of agronomic value in amaranth seed accessions from the VIR collection using NIR spectroscopy. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2025;186(1):52-60. [in Russian] (Шеленга Т.В., Соловьева А.Е., Соколова Д.В., Васипов В.В., Смоленская А.Е., Попов В.С. Экспресс-оценка биохимических показателей хозяйственной ценности образцов семян амаранта из коллекции ВИР с помощью БИК-спектроскопии. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.* 2025;186(1):52-60). DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-52-60
- Shipilina L.Yu., Khmelinskaya T.V. Collections of the wild *Daucus carota L.* preserved at VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2024;185(1):16-26. [in Russian]

- (Шипилина Л.Ю., Хмелинская Т.В. Коллекции дикорастущей *Daucus carota* L., сохраняющиеся в ВИР. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(1):16-26). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-16-26
- Sokolova D.V. Formation of the trait-specific group in VIR's table beet collection: environmental plasticity and stability. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2018;179(2):106-117. [in Russian] (Соколова Д.В. Формирование признаковой группы коллекции столовой свеклы ВИР: экологическая пластичность и стабильность. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018;179(2):106-117). DOI: 10.30901/2227-8834-2018-2-106-117
- Sokolova D.V. Dynamic changes in betanin content during the growing season of table beet: their interplay with abiotic factors. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022a;26(1):30-39. [in Russian] (Соколова Д.В. Динамические изменения содержания бетанина в столовой свекле в течение вегетационного периода: их взаимодействие с абиотическими факторами. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022a;26(1):30-39). DOI: 10.18699/VJGB-22-05
- Sokolova D.V. Genetic diversity of the table beet (*Beta* L.) collection at VIR as a potential source for breeding (review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022b;183(4):239-250. [in Russian] (Соколова Д.В. Генетическое разнообразие коллекции столовой свеклы ВИР (*Beta* L.) как потенциал для селекции (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022b;183(4):239-250). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-239-250
- Sokolova D. The potential of the VIR grain amaranth collection for cultivation in the northern regions. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2025;25(2):e52252527. DOI: 10.1590/1984-70332025v25n2a07
- Sokolova D.V., Chukhina I.G. New cultivar of amaranth 'FRANT' created at VIR. *Vavilovia*. 2024;7(3):10-17. [in Russian] (Соколова Д.В., Чухина И.Г. Новый сорт амаранта 'ФРАНТ' селекции ВИР. *Vavilovia*. 2024;7(3):10-17). DOI: 10.30901/2658-3860-2024-3-04
- Sokolova D.V., Solovieva A.E. Characterization of the biochemical composition and antioxidant activity of *Spinacia oleracea* L. and *Spinacia turkestanica* Ijin.: a comparative study. *Vegetable crops of Russia*. 2023;4:23-29. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-4-23-29
- Sokolova D.V., Shelenga T.V., Solovieva A.E. Comparative characteristics of the biochemical composition of chard and table beet accessions from VIR collection. *Vegetable crops of Russia*. 2019;5(49):77-83. [in Russian] (Соколова Д.В., Шеленга Т.В., Соловьева А.Е. Сравнительная характеристика биохимического состава образцов мангольда и свеклы столовой коллекции ВИР. *Овощи России*. 2019;5(49):77-83). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-77-83
- Sokolova D.V., Solovieva A.E., Shelenga T.V. Screening of early-maturing amaranth accessions from the VIR collection for the amino acid composition of seeds. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. [preprint] 2026. [in Russian] (Соколова Д.В., Соловьева А.Е., Шеленга Т.В. Скрининг скороспелых образцов амаранта коллекции ВИР по аминокислотному составу семян. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. [в печати] 2026).
- Sokolova D.V., Solovieva A.E., Zaretsky A.M., Shelenga T.V. The potential of the amaranth collection maintained at VIR in the context of global plant breeding and utilization trends. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024;28(7):731-743. [in Russian] (Соколова Д.В., Соловьева А.Е., Зарецкий А.М., Шеленга Т.В. Потенциал коллекции амаранта ВИР в свете мировых тенденций использования и селекции. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024;28(7):731-743). DOI: 10.18699/vjgb-24-81
- Sokolova D., Zvereva O., Shelenga T., Solovieva A. Comparative characteristics of the amino acid composition in amaranth accessions from the VIR collection. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021;45(1):68-78. DOI: 10.3906/tar-2007-7
- Solovieva A.E., Shelenga T.V., Konarev A.V., Kurina A.B., Korniyukhin D.L., Fateev D.A., Artemyeva A.M. Nutrient and bioactive substances in VIR Russian brassicas collections. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021;45(5):541-556. DOI: 10.3906/TAR-2010-95
- Tekhanovich G.A., Elatskova A.G. Use of world collection of VIR for breeding of bushy type and short-climbing varieties of pumpkin. *Breeding and seed production of vegetable crops*. 2015;46:547-554. [in Russian] (Теханович Г.А., Елацкова А.Г. Использование мировой коллекции ВИР в селекции кустовых и короткоплетистых сортов тыквы. *Селекция и семеноводство овощных культур*. 2015;46:547-554).
- Tekhanovich G.A., Elatskova A.G., Elatskov Yu.A. Genetic sources for breeding bushy and short-vine watermelon cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):89-94. [in Russian] (Теханович Г.А., Елацкова А.Г., Елацков Ю.А. Генетические источники для селекции кустовых и короткоплетистых сортов арбуза. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):89-94). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-89-94
- Varivoda E.A., Koleboshina T.G., Kornilova M.S. Collection accessions and source material as a determining factor for producing new melon cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(2):23-27. [in Russian] (Варивода Е.А., Колешина Т.Г., Корнилова М.С. Коллекционные образцы – определяющий фактор получения новых сортов дыни. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(2):23-27). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-2-23-27
- Vysochin V.G., Leunov V.I., Bortsova Yu.V. Breeding of cucumber for open field. *Potatoes and vegetables*. 2018;1:34-38. [in Russian] (Высочин В.Г., Леунов В.И., Борцова Ю.В. Селекция огурца для открытого грунта. *Картофель и овощи*. 2018;(1):34-38).

### Информация об авторах

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

**Ирина Валерьевна Гашкова**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, i.gashkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8758-893X>

**Мария Михайловна Игумнова**, ведущий специалист, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, mari.igumnova.88@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2512-6047>

**Анастасия Борисовна Курина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория селекции и клеточных технологий, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, nastya\_n11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3197-4751>

**Дмитрий Львович Корнюхин**, научный сотрудник, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, 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>

**Диана Викторовна Соколова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

**Дмитрий Андреевич Фатеев**, научный сотрудник, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, furriongo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1075-6704>

**Татьяна Владимировна Хмелинская**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, thmelinskaya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5425-1268>

**Вера Владимировна Шумилина**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, v.shumilina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6708-1763>

**Татьяна Миновна Пискунова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, отдел генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, tmpiskunova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>

### *Information about the authors*

**Anna M. Artemyeva**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, akmell@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>

**Irina V. Gashkova**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, i.gashkova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8758-893X>

**Maria M. Igumnova**, Leading Specialist, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, mari.igumnova.88@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2512-6047>

**Anastasia B. Kurina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Breeding and Cell Technologies, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, nastya\_n11@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3197-4751>

**Dmitry L. Korniyukhin**, Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, 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>

**Diana V. Sokolova**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

**Dmitry A. Fateev**, Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, furriongo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1075-6704>

**Tatiana V. Khmelinskaya**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, thmelinskaya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5425-1268>

**Vera V. Shumilina**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Specialist, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, v.shumilina@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6708-1763>

**Tatiana M. Piskunova**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Department of Vegetable and Cucurbit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, tmpiskunova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9267-6619>

**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 24.10.2025; одобрена после рецензирования 21.11.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted on 24.10.2025; approved after reviewing on 21.11.2025; accepted for publication on 24.12.2025.

Обзорная статья

УДК 575.1:575.2:633.491

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-05



## Использование клоновой коллекции картофеля ВИР в решении приоритетных задач отечественной селекции и исследований генетического разнообразия клубнеобразующих видов *Solanum L.*

Е. В. Рогозина, Н. А. Чалая, О. С. Косарева, Е. К. Хлесткина

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

**Автор, ответственный за переписку:** Елена Вячеславовна Рогозина, [egozina@vir.nw.ru](mailto:egozina@vir.nw.ru)

Ключевым фактором проведения селекционной работы на высоком научно-технологическом уровне является использование разнообразия генофонда картофеля, сохраняемого генбанками и биоресурсными центрами, неотъемлемой частью функционала которых является предоставление образцов сохраняемых ими коллекций по заявкам. В основном каталоге коллекции ВИР представлено более 8200 образцов картофеля: более 2700 сортов отечественной и зарубежной селекции, более 3400 образцов культурных видов из стран Южной Америки, около 2000 образцов диких видов из стран Центральной и Южной Америки. Во временном каталоге представлено более 500 селекционных линий, дигиплоидов и межвидовых гибридов картофеля. В 2020-2025 годах получателями клубневой репродукции образцов картофеля коллекции ВИР стали ведущие государственные селекцентры по картофелю и научные учреждения в области различных направлений биологии, защиты, фитопатологии растений, получившие по заявкам 1042 образца картофеля. Основные требования получателей материалов коллекции к образцам – высокая продуктивность, вкусовые качества, высокое содержание крахмала, устойчивость к фитофторозу, раку, вирусным болезням. Клубневая репродукция образцов с комплексом селекционно-ценных признаков, а также оценочные данные о них являются основой для эффективного выполнения дальнейших заявок государственных НИУ и вузов, нацеленных на решение актуальных проблем селекции картофеля. Для того, чтобы помочь получателям сформировать их будущие заявки на образцы, в настоящей публикации приводится анализ сведений о предоставляемых образцах, а также алгоритм формирования субколлекций, в которых сконцентрированы образцы с наибольшим потенциалом.

**Ключевые слова:** *Solanum* spp., активная коллекция, субколлекция, генетические ресурсы картофеля, источник селекционно-ценного признака, селекция картофеля, устойчивость к вирусам картофеля, устойчивость к парше обыкновенной, устойчивость к стеблевой нематодe, устойчивость к фитофторозу

**Благодарности:** работа выполнена в рамках госзадания ВИР по теме: FGEM-2025-0009.

**Для цитирования:** Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Косарева О.С., Хлесткина Е.К. Использование клоновой коллекции картофеля ВИР в решении приоритетных задач отечественной селекции и исследовании генетического разнообразия клубнеобразующих видов *Solanum L.* *Биотехнология и селекция растений.* 2025;8(4):95-105. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-05

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

© Рогозина Е.В., Чалая Н.А., Косарева О.С., Хлесткина Е.К., 2025

---

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-05

## The use of the VIR potato clone collection in solving priority problems of domestic breeding and research into the genetic diversity of tuber-forming species of *Solanum* L.

Elena V. Rogozina, Nadezhda A. Chalaya, Olga S. Kosareva, Elena K. Khlestkina

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

**Corresponding author:** Elena V. Rogozina, erogozina@vir.nw.ru

A key factor in conducting breeding work at a high scientific and technological level is the use of the diversity of the potato gene pool preserved by gene banks and bioresource centres, an integral part of whose function is to provide accessions from the collections they maintain upon request. The main catalogue of VIR collection contains over 8,200 potato accessions: over 2,700 cultivars bred in Russia and abroad, over 3,400 accessions of cultivated species from South America, and approximately 2,000 accessions of wild species from Central and South America. The temporary catalogue features over 500 breeding lines, dihaploids, and interspecific potato hybrids. In 2020-2025, the recipients of tuber reproduction of potato samples from the VIR collection were leading state potato breeding centres and scientific institutions in the field of various areas of plant biology, protection, and phytopathology, receiving 1,042 potato samples upon request. The recipients primarily require plant material with high productivity, taste qualities, high starch content, resistance to late blight, potato cancer, and viral diseases. Sets of accessions with a range of valuable breeding traits, as well as evaluation data on them, form the basis for the effective fulfilment of subsequent requests from state research universities and higher education institutes aimed at solving pressing issues in potato breeding. To assist the requesting parties in formulating their future requests, this publication provides an analysis of the information on the collection material open for distribution, as well as an algorithm for creating subcollections that unite specimens with the greatest potential.

**Keywords:** *Solanum* spp., active collection, subcollections, potato genetic resources, source of valuable traits for breeding, potato breeding, resistance to potato viruses, resistance to common scab, resistance to stem nematode, resistance to late blight

---

**Acknowledgements:** This work was performed within the framework of the State Assignment to VIR topic: FGEM-2025-0009

**For citation:** Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kosareva O.S., Khlestkina E.K. The use of the VIR potato clone collection in solving priority problems of domestic breeding and research into the genetic diversity of tuber-forming species of *Solanum* L. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):95-105. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-05

**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.

---

© Rogozina E.V., Chalaya N.A., Kosareva O.S., Khlestkina E.K., 2025

## Введение

В России картофель – ценная продовольственная и техническая культура, валовый сбор которой в 2023 году составил 20,4 млн. тонн, что означает достижение порогового уровня продовольственной безопасности 95%, обозначенного в Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года (On approving the Program..., 2022). Однако, для отечественного картофелеводства характерна высокая степень зависимости от семян иностранных сортов. Доля семенного картофеля сортов отечественной селекции среди 10 лидирующих на российском рынке сортов в общем объеме производства крайне низка. По разным оценкам, в 2020-2023 годах лишь 9% семян картофеля в товарном секторе – семена сортов отечественной селекции. Одним из целевых индикаторов Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы является использование к 2030 году не менее 50% семян отечественных сортов картофеля в общем объеме посадок этой сельскохозяйственной культуры на территории страны (On approval of the Federal..., 2017).

Высокопродуктивное и устойчивое к изменениям природной среды сельское хозяйство обозначено как одно из приоритетных направлений научно-технологического развития нашей страны (On approval of the priority..., 2024). Для перехода к высокопродуктивному и устойчивому картофелеводству необходимы новые сорта с комплексом хозяйственно-ценных признаков. Перед современной селекцией картофеля стоит задача создания сортов со стабильным выходом товарной продукции высокого качества, устойчивых к абио- и биотическим стрессорам. Новые отечественные сорта картофеля предназначены для разных направлений использования, так как наряду с продовольственными требуются сорта, пригодные к переработке, с комплексом определенных технологических показателей. В последние годы в России открылись новые производства по переработке картофеля на чипсы, сухое картофельное пюре, крупку и другие продукты. Сорта картофеля с повышенным содержанием крахмала мало, однако эти сорта определяют рентабельность перерабатывающей отрасли, и для их создания необходим новый исходный материал.

Картофель восприимчив к широкому кругу вредных организмов, среди которых повсеместно причиняют серьезный экономический ущерб возбудители фитофтороза *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, альтернариоза *Alternaria solani* Sorauer, ризоктониоза *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, порошистой парши *Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh., бактериального увядания *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al., черной ножки *Pectobacterium* spp., вирусы Y (PVY) и скручивания листьев (PLRV) (Stark et al., 2020). По данным Россельхозцентра в России ежегодно на посадках семенного картофеля отмечают, помимо выше перечисленных, пораже-

ние растений кольцевой гнилью *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus* Spieckermann and Kotthoff, на клубнях распространены обыкновенная парша *Streptomyces scabiei* Lambert et Loria, сухая гниль *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. и фомоз *Phoma exigua* var *foveata* (Foister) Boerema (Review of the phytosanitary..., 2025). В последние годы на европейской территории России отмечено усиление вредоносности стеблевой нематоды *Ditylenchus destructor* Thorne, которая на территории РФ и стран Европейского союза исключена из перечня карантинных видов нематод из-за широкого распространения, и с 2014 года имеет статус «регулируемые не карантинные вредные организмы» (PM 7/87 (2)...., 2017).

Ключевым фактором проведения селекционной работы на высоком научно-технологическом уровне является использование разнообразия генофонда картофеля, что позволяет выделять и создавать новые доноры и генетические источники признаков, необходимые для отечественных сортов, а также формировать платформу для разработки технологий маркер-ориентированной и геномной селекции.

### Доступ пользователей к коллекции ВИР: клоновая коллекция картофеля

Сохранение разнообразия коллекций генетических ресурсов картофеля в мировых генбанках имеет решающее значение для современной селекции и для проведения фундаментальных исследований, которые обеспечивают развитие и совершенствование селекционных программ в будущем (Ellis et al., 2020; Nagel et al., 2022). Сохраняемый в составе коллекции мировых генетических ресурсов культурных растений и их диких родичей (коллекция ВИР) генофонд сортов и селекционных клонов картофеля уникален. Это единственная в России и одна из крупнейших в мире коллекция генетических ресурсов картофеля, в ней сосредоточено разнообразие генофонда этой важнейшей культуры и родственных клубнеобразующих видов *Solanum* L. (Nagel et al., 2022). В основном каталоге коллекции ВИР представлено более 8200 образцов: более 2700 сортов картофеля отечественной и зарубежной селекции, более 3400 образцов культурных видов из стран Южной Америки, около 2000 образцов диких видов из стран Центральной и Южной Америки. Во временном каталоге представлено более 500 селекционных линий, дигиплоидов и межвидовых гибридов картофеля.

Неотъемлемой частью функционала генбанков и биоресурсных центров является предоставление образцов сохраняемых ими коллекций по заявкам. ВИР, как биоресурсный центр, предоставил только за последние годы, с 2019 по 2024 годы, по заявкам государственных научно-исследовательских учреждений и вузов России на безвозмездной основе материалы более 34 тысяч образцов различных культур (Loskutov, 2025). С учетом 2025 года (5385 образцов по 183 заявкам государственных учреждений; <https://www.vir.nw.ru/>) – материалы около 40 тысяч

образцов (по более 1,2 тыс. заявок).

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия ВИР с получателями дубликатов образцов коллекции ВИР и количественные данные о предоставлении образцов картофеля. Видно, что более 90% образцов предоставляются получателям, которые предпочитают указывать в заявке характеристики, которыми должны обладать образцы, не заявляя конкретные наименования сортов или номера образцов по каталогу ВИР. Получатели, заказывающие сорта или конкретные образцы, выбранные ими на основе изучения опубликованных сведений об образцах, в меньшинстве. Большинство, основываясь на своем предшествующем опыте сотрудничества с ВИР, предпочитают получать материалы, подобранные, согласно заявленным характеристикам, кураторами культур коллекции ВИР (рис. 1). Кураторы культур подбира-

ют образцы для предоставления по заявкам путем анализа паспортных и оценочных данных, формируя из них выборки – целевые субколлекции.

Для предоставления образцов требуется постоянное наличие свежих семян/посадочного материала образцов – физических носителей генетической информации. Так, на опытном поле и в теплицах экспериментальной базы ВИР в Пушкине (НПБ Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР) ежегодно путем вегетативного размножения осуществляется поддержание и воспроизводство более 1500 сортов, более 300 клонов диких видов, около 600 клонов культурных видов и более 180 клонов межвидовых гибридов картофеля. Кроме этого, работы по получению свежих репродукций и изучению коллекции картофеля ведутся в филиалах ВИР в Мурманской и Тамбовской областях, в регионах Дальнего Востока и на юге России.



**Рис. 1. Схема взаимодействия ВИР с организациями-получателями клубневой репродукции образцов коллекции ВИР и количественные данные о предоставлении образцов картофеля в 2020-2025 годах**

& – при проверке репродукций используются описательные данные. \* – этапы работы, выполняемые непосредственно в рамках темы FGEM-2025-0009

**Fig. 1. Scheme of interaction between VIR and organizations receiving tuber reproduced accessions from the VIR collection and quantities of potato samples provided in 2020-2025**

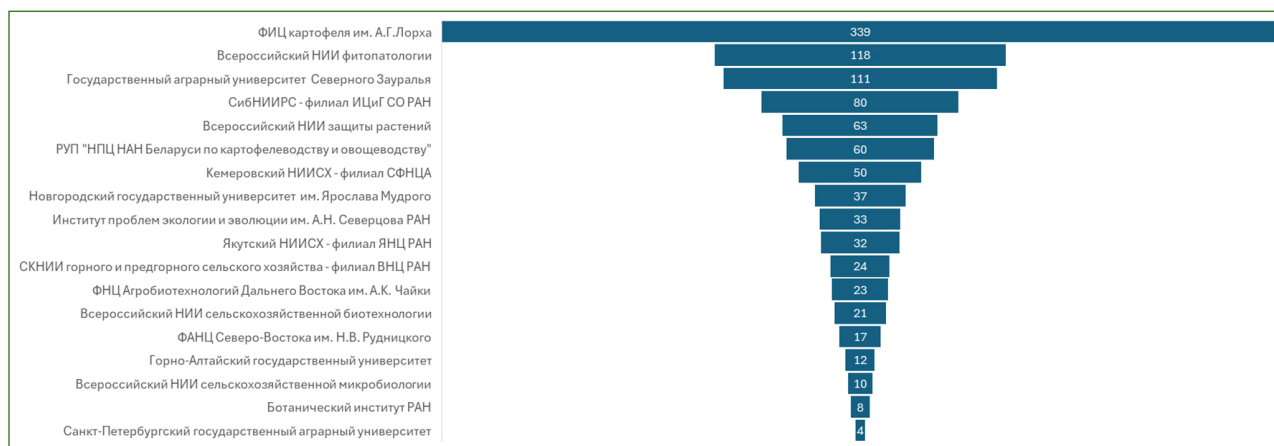
& – descriptive data are used when verifying regenerated accessions. \* – work stages carried out within the framework of topic FGEM-2025-0009

От результатов деятельности, лежащей в основе предоставления образцов коллекции ВИР, во многом зависят качество, успешность, результативность и новизна дальнейших работ в России в области селекции культур-

ных растений и в сфере современной биологии растений. В период 2020-2025 годов получателями материалов образцов картофеля коллекции ВИР стали ведущие государственные селекционные центры по картофелю и научные

учреждения в области различных направлений биологии, защиты, фитопатологии растений (рис. 2). Всего за этот

период государственным НИУ и вузам по заявкам были предоставлены 1042 образца картофеля.



**Рис. 2. Организации-получатели клубневой репродукции образцов коллекции ВИР и данные о количестве полученных из ВИР образцов картофеля каждой из указанных организаций в 2020-2025 годах**

**Fig. 2. Organizations receiving tuber reproduced accessions from the VIR collection and numbers of potato accessions received from VIR by each of the listed organizations in 2020-2025**

Характеристики, указанные в каждой заявке на получение сортового материала, в основном следующие: высокая продуктивность, вкусовые качества, высокое содержание крахмала, устойчивость к фитофторозу, раку, вирусным болезням. В указанный период отправлено 53 сорта с относительной устойчивостью к вирусам, 20 сортов высокопродуктивных, 10 устойчивых к фитофторозу и шесть с высоким содержанием крахмала в клубнях, в том числе сорта с комплексом ценных признаков: 'Ania', 'Bavator', 'Caprice', 'Sante', 'Tusar'. Помимо обязательных признаков, по специализированным направлениям по запросу селекционеров были подобраны: для СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН (Новосибирская обл.) сорта раннего срока созревания, пригодные для переработки на картофель фри, устойчивые к золотистой нематоде; для Якутского НИИСХ – филиала ЯНЦ РАН (Республика Саха) засухоустойчивые формы; для Кемеровского НИИСХ – филиала СФНЦА (Кемеровская обл.) образцы с красной, фиолетовой или розовой окраской кожуры.

Источники устойчивости к фитофторозу, выделенные среди диких видов картофеля, отправлены по заявке в ГАУ Северного Зауралья, образцы диких и культурных видов контрастные по реакции на заражение Y-вирусом картофеля – во ВНИИСБ, контрастные по реакции на заражение фитофторозом – во ВНИИФ. Образцы диких видов *S. × sucrense* Hawkes, *S. vernei* Bitt. et Wittm., *S. okadae* Hawkes et Hjerting, *S. microdontum* Bitt., *S. maglia* Schlechtd., *S. verrucosum* Schlechtd., *S. chacoense* Bitter, и культурных *S. phureja* Juz. et Buk.,

*S. stenotomum* Juz. et Buk. были использованы для выполнения работ в рамках гранта РФФ проект №21-76-10050 «Роль изоформ фактора инициации трансляции eIF4E в восприимчивости картофеля к вирусу Y», руководитель Н.Е. Злобин, ВНИИСБ. Результаты скрининга образцов *S. chacoense* на устойчивость к Y-вирусу картофеля и наличие гена *Ry<sub>chc</sub>* опубликованы А. Антиповым с соавторами (Antipov et al., 2025).

Образцы диких и культурных видов картофеля, представляющие разнообразие генофонда видов *Solanum* L. и гибридных форм, предоставлены по заявкам в БИН РАН, ВИЗР, Новгородский ГУ им. Ярослава Мудрого, РУП «НПЦ Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и овощеводству». Образцы диких видов, среди которых по данным литературы могут быть выявлены формы устойчивые к стеблевой нематоде, были переданы для изучения в Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН.

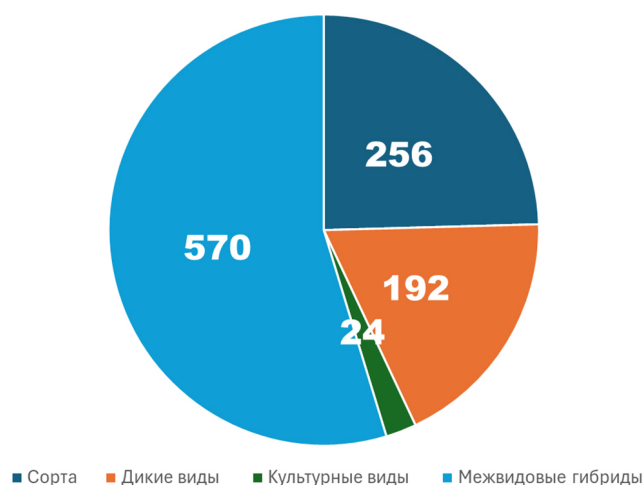
В ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха в 2020 году передан 41 клон межвидовых гибридов перспективных для более углубленного изучения, в том числе для оценки на устойчивость к раку и золотистой картофельной нематоде; в 2021 году – 279 клонов, полученных от трех комбинаций скрещивания с участием ранее созданных в ВИР гибридов с комплексом селекционно-ценных признаков, и три сорта картофеля; в 2023 году – 16 клонов с высокой продуктивностью и устойчивостью к болезням. Результаты оценки клонов межвидовых гибридов картофеля по комплексу биохимических показателей, определяющих пригодность для использования в производстве

картофелепродуктов, опубликованы О.Б. Поливановой с соавторами (Polivanova et al., 2021). Результаты оценки популяций клонов межвидовых гибридов картофеля на устойчивость к Y-вирусу картофеля и наличие молекулярных маркеров генов крайней устойчивости *Ry* опубликованы В.А. Бирюковой с соавторами (Biryukova et al., 2022).

В ГАУ Северного Зауралья для оценки в условиях Тюменской области были переданы 22 клона межвидовых гибридов картофеля в 2020 году, 28 клонов – в 2021 году и 12 клонов – в 2022 году. Во ВНИИФ в 2020 году были переданы 80 клонов межвидовых гибридов и три сорта – стандарта для проведения оценки на устойчивость к фитофторозу в Московской области. В Горно-Ал-

тайский университет и в РУП "НПЦ Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству и овощеводству" для изучения в автохтонных биоценозах были переданы ранее созданные в ВИР клоны межвидовых гибридов с комплексом селекционно-ценных признаков. Результаты изучения клонов межвидовых гибридов картофеля в разных локациях на территории Горной республики Алтай опубликованы Н.А. Окашевой с соавторами (Okasheva et al., 2023; 2024; 2025).

На рисунке 3 обобщены сведения о предоставляемом количестве образцов в соответствии с их принадлежностью к сортам *Solanum tuberosum* L., образцам других культурных видов картофеля, образцам диких родичей картофеля и межвидовым гибридам.



**Рис. 3. Количественное распределение образцов картофеля, предоставленных из коллекции ВИР по заявкам государственных НИУ и вузов в 2020-2025 годах**

**Fig. 3. Quantitative distribution of potato specimens from the VIR collection provided at the request of state research institutes and universities in 2020-2025**

- сорта *Solanum tuberosum* L./ *Solanum tuberosum* L. cultivars,
- образцы других культурных видов картофеля/ other cultivated potato species,
- образцы диких родичей картофеля/ wild relatives of potato,
- межвидовым гибридам картофеля/ interspecific potato hybrids.

Важной является обратная связь от получателей образцов (см. рис. 1). В первую очередь – предоставление в коллекцию созданных ими новых селекционных достижений. С 2024 года законодательно закреплена обязанность: «В случае, если на основе (с применением) предоставленных материалов образца биологической (биоресурсной) коллекции получатель предоставленных материалов образца биологической (биоресурсной) коллекции создал сорт растений или породу животных, которые отвечают требованиям к селекционным достижениям, либо получил новые штамм микроорганизма, культуру клеток растений или животных, которые отвечают условиям патентоспособности, этот получатель обязан представить генетический материал созданных сорта растений, породы животных, штамма микроорганизма или культуры клеток растений или животных

в биоресурсный центр с описанием их генотипа и фенотипа для включения в биологическую (биоресурсную) коллекцию» (пункт 11 статьи 17 Федерального закона 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") (On bioresource centres..., 2024).

Но не только пополнение коллекции новыми сортами – обратная связь в виде результатов изучения полученных по заявкам образцов коллекций тоже важна. Эта информация приобщается к массивам оценочных данных, получаемых в ходе изучения коллекции непосредственно в ВИР (см. рис. 1), и является важным дополнением к тем сведениям, на основе которых следующие поколения селекционеров будут получать образцы по заявкам.

## Управление оценочными данными генетических ресурсов картофеля и их наполнение в 2019-2024 годах

В мире доступ к генетическим ресурсам картофеля ограничен, знания о селекционной-ценности образцов генетических ресурсов растений в мировых генных банках неполны, и при активном развитии молекулярно-генетических и геномных технологий критически важным является надежное и максимально полное фенотипирование коллекций для выявления образцов с ценными для селекции признаками (Bamberg et al., 2018; Nagel et al., 2022). Образцы мировых коллекций картофеля охарактеризованы частично по реакции на фитофтороз, глободероз и вирусы Y (PVY) и X (PVX). Скрининг на устойчивость к другим болезням (например, парша обыкновенная, рак картофеля, фузариоз), вредителям (колорадский жук) и абиотическим стрессам (засуха, жар, холод) проводился лишь несколькими генбанками (Nagel et al., 2022). Поиск новых источников устойчивости к болезням и вредителям продолжает оставаться одним из приоритетных направлений исследования образцов ведущих мировых коллекций картофеля (Gao et al., 2024; Karki et al., 2021; Rogozina et al., 2023; Perez et al., 2022; Slater et al., 2020).

Коллекция картофеля, сохраняемая в составе коллекции ВИР, является важнейшим источником исходного материала для создания новых сортов, которые необходимы для устойчивого развития российского картофелеводства. Выделение источников ценных признаков для селекции сортов различных направлений использования, позволяет решать задачу конкурентоспособности отечественного сортимента, ускорять селекционный процесс и повышать его эффективность. В условиях естественного инфекционного фона в ходе ежегодных опы-

тов на базе «НПБ Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин) образцы картофеля из коллекции ВИР оценивают по поражаемости болезнями и вредителями, продуктивности, другим ценным для селекции признакам. На экспериментальных полевых площадках филиалов ВИР образцы сортов и межвидовых гибридов оценивают по поражаемости болезнями, распространенными на картофеле в соответствующей зоне (Камчатский край, Магаданская область, Мурманская область, Республика Адыгея, Сахалинская область, Тамбовская область).

Оценку образцов картофеля из коллекции ВИР в полевых условиях проводят в соответствии с Методическими указаниями по изучению коллекции картофеля и по технологии селекции картофеля (Kiru et al., 2010; Simakov et al., 2006). В течение вегетационного периода осуществляют фенологические наблюдения: производят анализ всходов, массовых всходов, бутонизации, цветения, массового цветения, ягодообразования у растений и визуальную оценку поражения растений фитофторозом, вирусными, грибными (альтернариоз) и бактериальными (парша обыкновенная) заболеваниями. Образцы сортовой коллекции и межвидовых гибридов оценивают также по хозяйственно-ценным признакам, таким как скороспелость, продуктивность, товарность, содержание крахмала в клубнях. Результаты полевой оценки, проводимой в течение не менее трех лет, позволяют выделить образцы с полевой устойчивостью к болезням и вредителям (в качестве примера см рис. 4) и сформировать целевые субколлекции (например, Kosareva, 2023), перспективные образцы затем подвергают углубленному изучению, в том числе с использованием методов искусственного заражения и различных методов лабораторной оценки (например, Zoteyeva et al., 2024a; 2024b).



**Рис. 4. Примеры полевой оценки образцов диких видов по устойчивости к фитофторозу листьев в 2021 году (А) и в 2022 году (Б)**

А – слева направо: *S. stoloniferum* к-24793 (устойчивый), *S. chacoense* к-7613 (восприимчивый), *S. trifidum* к-24309 (устойчивый). Б – слева направо: *S. spagazzinii* к-21982 (устойчивый), *S. spagazzinii* к-15280 (восприимчивый)

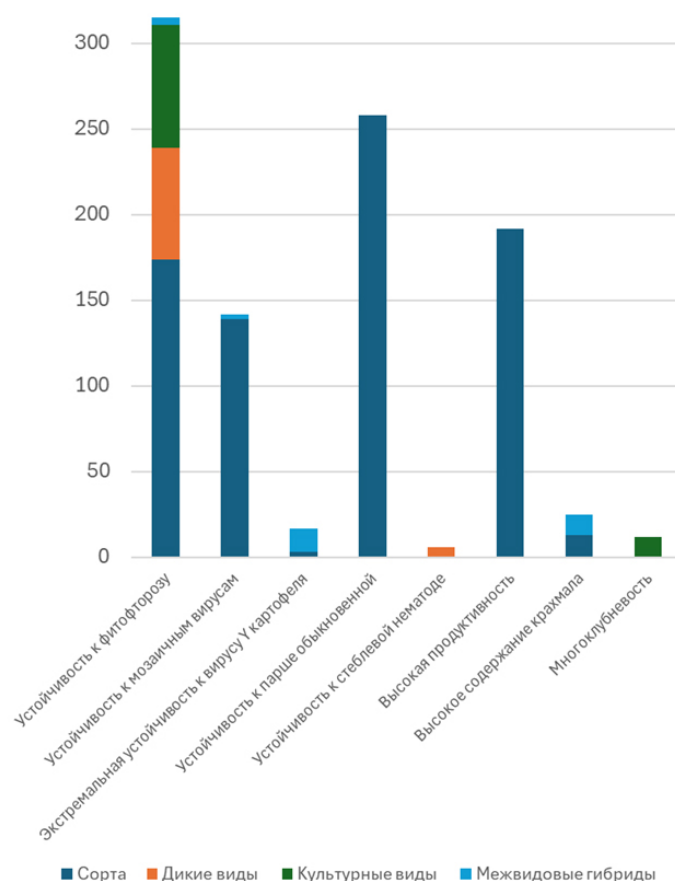
**Fig. 4. Examples of field evaluation of accessions of wild species for resistance to late blight of leaves in 2021 (A) and 2022 (B)**

A – left to right: *S. stoloniferum* k-24793 (resistant), *S. chacoense* k-7613 (susceptible), *S. trifidum* k-24309 (resistant). B – left to right: *S. spagazzinii* k-21982 (resistant), *S. spagazzinii* k-15280 (susceptible)

На рисунке 5 представлено количественное распределение образцов картофеля, выделенных на основе изучения коллекции ВИР в период 2019-2024 годов в качестве источников признаков ценных для селекции картофеля: по принадлежности к сортам *Solanum tuberosum* L. («Сорта»), образцам других культурных видов картофеля («Культурные виды»), образцам диких родичей картофеля («Дикие виды») и межвидовым гибридам картофеля («Межвидовые гибриды») и по основным признакам. Всего было выделено 967 источников.

Выделившиеся в результате лабораторных испытаний и многолетних полевых исследований образцы с комплексом селекционно-ценных признаков представляют наибольший интерес. Клубневая репродукция этих образцов, а также оценочные данные о них являются основой для эффективного выполнения заявок государственных НИУ и вузов, занимающихся фундаментальными исследова-

ниями или прикладными разработками, связанными с решением актуальных проблем селекции картофеля. В качестве примера в таблице 1 приведены такие источники, выделившиеся в коллекции ВИР. Наибольший интерес представляет сорт 'Bavator', у которого устойчивы к фитофторозу листья и клубни, отсутствуют симптомы поражения мозаичными вирусами, содержание крахмала составляет 18-21%. У 'Ania', 'Meduza' и 'Західна' отмечена устойчивость к фитофторозу листьев и клубней, также отсутствие симптомов вирусных болезней. Сорт 'Текес' отличается устойчивостью к фитофторозу листьев, устойчивостью клубней к парше обыкновенной и отсутствием симптомов вирусных болезней. Среди клонов межвидовых гибридов картофеля наибольший интерес представляет образец 914-5-2018 устойчивый при искусственном заражении к фитофторозу листьев, клубней и к вирусу Y (таблица).



**Рис. 5. Количественное распределение образцов картофеля, выделенных в качестве источников признаков ценных для селекции картофеля и по основным признакам. Период изучения: 2019-2024 годы**

**Fig. 5. Quantitative distribution of potato accessions identified as sources of traits valuable for potato breeding and main traits. Study period: 2019-2024**

- сорта *Solanum tuberosum* L./ *Solanum tuberosum* L. cultivars,
- образцы других культурных видов картофеля/ other cultivated potato species,
- образцы диких родичей картофеля/ wild relatives of potato,
- межвидовым гибридам картофеля/ interspecific potato hybrids.

**Таблица. Сорты и клоны межвидовых гибридов картофеля из коллекции ВИР с комплексом селекционно-ценных признаков**

**Table. Cultivars and clones of interspecific potato hybrids from the VIR collection with a complex of valuable breeding traits**

№ п/п/ No.	Название сорта, номер клона межвидового гибрида картофеля/ Cultivar name, number of interspecific potato hybrid clone	Страна происхождения/ Country of origin	Номер по каталогу ВИР/ VIR Catalogue No.	Признак*/ Trait*
1	'Ania'	Польша	24063	ФЛ, ФК, ВУ
2	'Bavator'	Германия	25540	ФЛ, ФК, ВУ, ВК
3	'Caprice'	Германия	25193	ФЛ, ФК
4	'Meduza'	Польша	24082	ФЛ, ФК, ВУ
5	'Natalia'	Германия	25541	ВУ, Пр
6	'Odra'	Польша	18036	ФЛ, ВУ
7	'Proton'	Нидерланды	20381	ФЛ, ФК
8	'Sante'	Нидерланды	19578	ВУ, ПУ
9	'Брянский надежный'	Россия	12160	ФЛ, ФК
10	'Вектор'	Россия	25200	ФЛ, ФК
11	'Гармония'	Беларусь	25464	ВУ, Пр
12	'Гусар'	Россия	25436	ФЛ, Пр
13	'Жуалы'	Казахстан	25156	ВУ, ПУ
14	'Завіа'	Украина	24794	ФЛ, ВУ
15	'Зарево'	Украина	10773	ПУ, ВК
16	'Західна'	Украина	24796	ФЛ, ФК, ВУ
17	'Кабардинский'	Россия	10151	ФЛ, ФК
18	'Местный'	Грузия	25298	ФЛ, ПУ
19	'Местный'	Грузия	25329	ФЛ, ПУ
20	'Мусинский'	Россия	25312	ФЛ, ПУ
21	'Никулинский'	Россия	12171	ФЛ, ФК
22	'Рапсодия'	Россия	25130	ФЛ, ВУ
23	'Рашт'	Таджикистан	25423	ФЛ, Пр
24	'Сеним'	Казахстан	25306	ФЛ, ПУ
25	'Сеянец Лаптева'	Казахстан	25161	ФЛ, ФК
26	'Сункар'	Казахстан	25258	ФЛ, ПУ
27	'Танго'	Россия	25439	ФЛ, ВК
28	'Текес'	Казахстан	25173	ФЛ, ВУ, ПУ
29	'Чарауник'	Беларусь	25139	ВУ, ПУ
30	'Янтарь'	Россия	24761	ВУ, Пр
31	914-5-2018	Россия (ВИР)	П-616	ФЛ, ФК, КрУВК
32	952-35	Россия (ВИР)	П-619	ФЛ, ФК
33	952-62	Россия (ВИР)	П-620	ФЛ, ФК
34	952-65	Россия (ВИР)	П-621	ФЛ, ФК

\* ФЛ – устойчивость к фитофторозу листьев/ resistance to late blight of leaves, ФК – устойчивость к фитофторозу клубней/ resistance to late blight of tubers, ВУ – устойчивость к вирусам/ resistance to viruses, КрУВК устойчивость к УВК/ resistance to УВК, ПУ – устойчивость к парше обыкновенной/ scab resistance, Пр – высокая продуктивность/ high productivity, ВК – высокое содержание крахмала/ high starch content

### Заключение

Клоновая коллекция культурных форм, родственных клубнеобразующих видов и межвидовых гибридов картофеля представляет разнообразие генофонда и ценный материал для проведения фундаментальных и прикладных исследований генетического разнообразия культуры картофеля. Идентифицированные источники ценных для

селекции картофеля признаков и генотипы, контрастные по реакции на инфицирование возбудителями болезней, востребованы получателями материалов образцов из коллекции ВИР, занимающимися фундаментальными исследованиями или прикладными разработками, связанными с решением актуальных проблем селекции картофеля.

## References/Литература

- Antipov A., Gurina A., Zlobin N., Rogozina E. Role of *Ry<sup>chc</sup>* gene diversity in the resistance of wild potato relative *Solanum chacoense* to potato virus Y. *Scientific Reports*. 2025;15:42055. DOI: 10.1038/s41598-025-25963-9
- Bamberg J.B., del Rio A.H., Jansky S.J., Ellis D. Ensuring the genetic diversity of potatoes. In: G. Wang-Pruski (ed.). *Achieving sustainable cultivation of potatoes. Vol. 1. Ch. 3*. Cambridge, UK: Burleigh-Dodds Science Publishers; 2018. p.57-80. DOI: 10.19103/AS.2017.0016.02
- Biryukova V.A., Zharova V.A., Chalaya N.A., Shmyglya I.V., Rogozina E.V. Molecular markers as tools in breeding for resistance to potato virus Y. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):777-787. [in Russian] (Бирюкова В.А., Жарова В.А., Чалая Н.А., Шмыгля И.В., Рогозина Е.В. Молекулярные маркеры как инструмент в селекции на устойчивость к Y-вирусу картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):777-787). DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.777-787
- Ellis D., Salas A., Chavez O., Gomez R., Anglin N. *Ex situ* conservation of potato [*Solanum* section *Petota* (Solanaceae)] genetic resources in genebanks. In: H. Campos, O. Ortiz (eds). *The Potato Crop: Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind*. Cham: Springer International Publishing; 2020. p.109-138. DOI: 10.1007/978-3-030-28683-5\_4
- Gao Y., Tian C., Du Y., Zhao Y., Jiang R., Zhang K., Lv D. Genetic profiling and PVY resistance identification of potato germplasm resources. *Frontiers in Plant Science*. 2024;15:1444281. DOI: 10.3389/fpls.2024.1444281
- Karki H.S., Jansky S.H., Halterman D.A. Screening of wild potatoes identifies new sources of late blight resistance. *Plant Disease*. 2021;105(2):368-376. DOI: 10.1094/PDIS-06-20-1367-RE
- Kiru S.D., Kostina L.I., Truskinov E.V., Zoteeva 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 global potato collection (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoy kollektzii 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).
- Kosareva O.S. Subcollection of potato varieties on the resistance to mosaic virus diseases. *Agrarian Russia = Agrarnaya Rossiya*. 2023;(8):9-13. [in Russian] (Косарева О.С. Целевая субколлекция селекционных сортов картофеля по устойчивости к мозаичным вирусам. *Аграрная Россия*. 2023;(8):9-13). DOI: 10.30906/1999-5636-2023-8-9-13
- Loskutov I.G. The history of the global collection of plant genetic resources in Russia. 2<sup>nd</sup> ed. revised and supplemented. Under the general editorship of E.K. Khlestkina. St. Petersburg; 2025. [in Russian] (Лоскутов И.Г. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России/ под общ. ред. Е.К. Хлесткиной. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: ВИР; 2025).
- Nagel M., Dulloo M.E., Bissessur P, Gavrilenko T., Bamberg J., Ellis D., Giovannini P. Global strategy for the conservation of potato. Bonn, Germany: Global Crop Diversity Trust; 2022. DOI: 10.5447/ipk/2022/29
- PM 7/87 (2) *Ditylenchus destructor* and *Ditylenchus dipsaci*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2017;47(3):401-419. Available from: <https://gd.eppo.int/download/standard/211/pm7-087-2-en.pdf>; <https://gd.eppo.int/taxon/DITYDE/documents> [accessed October 14, 2025]
- Okasheva N.A., Rogozina E.V., Safonova O.V., Klimova O.V., Bol'bukh T.V. Evaluation of disease resistance in a new collection of interspecific hybrids of VIR potatoes. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2025;(205):206-216. [in Russian] (Окашева Н.А., Рогозина Е.В., Сафонова О.В., Климова О.В., Бобух Т.В. Оценка устойчивости новой коллекции межвидовых гибридов картофеля ВИР к болезням. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2025;(205):206-216). DOI: 10.21515/1990-4665-205-020
- Okasheva N.A., Rogozina E.V., Safonova O.V., Voronkov E.G., Khudyakova N.E. Results of testing VIR potato hybrids in the Altai mountain region. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2024;(204):422-432. [in Russian] (Окашева Н.А., Рогозина Е.В., Сафонова О.В., Воронков Е.Г., Худякова Н.Е. Результаты испытания гибридов картофеля ВИР в Горном Алтае. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2024;(204):422-432). DOI: 10.21515/1990-4665-204-044
- Okasheva N.A., Rogozina E.V., Strel'tsova T.A., Pol'nikova E.N. Studying the prospects of growing of interspecific potato hybrids in the high and low mountains of the republic of Altai. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2023;7(225):9-16. [in Russian] (Окашева Н.А., Рогозина Е.В., Стрельцова Т.А., Польшникова Е.Н. Изучение перспективности возделывания межвидовых гибридов картофеля в условиях высокогорья и низкогогорья республики Алтай. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2023;7(225):9-16). DOI: 10.53083/1996-4277-2023-225-7-9-16
- On approval of the priority areas of scientific and technological development and a list of the most important science-intensive technologies: Decree of the President of the Russian Federation dated June 18, 2024 No. 529 (Ob utverzhdenii prioritnykh napravleniy nauchno-tehnologicheskogo razvitiya i perechnya vazhneyshikh naukoymkikh tekhnologiy: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii № 529 ot 18.06.2024). *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*; 2024. [in Russian] (Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий: Указ Президента Российской Федерации № 529 от 18.06.2024. *Официальный интернет-портал правовой информации*; 2024). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202406180018> [дата обращения: 25.11.2025].
- On approval of the Federal scientific and technical program for the development of agriculture for 2017-2025. Resolution of the Government of the Russian Federation № 996 of 25.08.2017 (Ob utverzhdenii Federal'noy nauchno-tekhnicheskoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017-2025 gody: postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25.08.2017 № 996). *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*; 2017. [in Russian] (Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы: Постановление Правительства Российской Федерации от 25.08.2017 № 996. *Официальный интернет-портал правовой информации*; 2017). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708300023> [дата обращения: 14.11.2025]
- On approving the Program of development of the National Center for Plant Genetic Resources for 2023-2030: Order of the Government of the Russian Federation No. 2567-p dated September 12, 2022 (Ob utverzhdenii Strategii razvitiya agropromyshlennogo i rybokhozyaystvennogo kompleksov na period do 2030 goda: Rasporyazheniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 12.09.2022 № 2567-p). *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*; 2022. [in Russian] (Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.09.2022 № 2567-р. *Официальный интернет-портал правовой информации*; 2022). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202209120021> [дата обращения: 25.10.2025].
- On biosource centres and biological (bioresource) collections and on amendments to article 29 of the Federal Law on the animal world: Federal Law No. 428-FZ of November 30, 2024 (O biosurnsnykh tsentrakh i biologicheskikh (biosurnsnykh) kollektsiyakh i o vnesenii izmeneniy v stat'yu 29 Federal'nogo zakona «O zhivotnom mire»: Federal'nyi zakon № 428-FZ ot 30.11.2024). *The official internet-portal of legal information (Russian Federation)*; 2024. [in Russian] (О биоресурсных центрах и биологических (биоресурсных) коллекциях и о внесении изменений в статью 29 Федерального закона «О животном мире»: Федеральный закон № 428-ФЗ от 30.11.2024. *Официальный интернет-портал правовой информации*; 2024).

- URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202411300018> [дата обращения: 14.11.2025]
- Perez W, Alarcon L, Rojas T, Correa Y, Juarez H, Andrade-Piedra JL, Anglin N.L., Ellis D. Screening South American potato landraces and potato wild relatives for novel sources of late blight resistance. *Plant Disease*. 2022;106(7):1845-1856. DOI: 10.1094/PDIS-07-21-1582-RE
- Polivanova O.B., Gins E.M., Moskalev E.A., Voinova M.S., Koroleva A.K., Semenov A.Zh., Sivolapova A.B., Ivanova A.S., Kazakov O.G., Simakov E.A., Chalaya N.A., Rogozina E.V., Goryunova S.V. Quality evaluation, phytochemical characteristics and estimation of beta-carotene hydroxylase 2 (*Chy2*) alleles of interspecific potato hybrids. *Agronomy*. 2021;11(8):1619. DOI: 10.3390/agronomy11081619
- Review of the phytosanitary condition of agricultural crops in the Russian Federation in 2024 and a forecast of the development of harmful objects in 2025 (Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохоззяйственных культур в Российской Федерации в 2024 году и прогноз развития вредных объектов на 2025 год/ под ред. А.В. Живых. Москва; 2025). [in Russian] (Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2024 году и прогноз развития вредных объектов на 2025 год/ под ред. А.В. Живых. Москва; 2025). URL: <https://rosselhocenter.ru/obzory-i-prognozy/> [дата обращения 14.10.2025]
- Rogozina E.V., Gurina A.A., Chalaya N.A., Zoteyeva N.M., Kuznetsova M.A., Beketova M.P., Muratova O.A., Sokolova E.A., Drobyazina 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
- Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashina I.M. Guidelines for potato breeding technology (Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsesssa kartofelya). Moscow; 2006. [in Russian] (Симаков Е.А., Склярлова Н.П., Яшина И.М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. Москва; 2006).
- Slater A.T, Schultz L., Lombardi M., Rodoni B.C., Bottcher C., Cogan N.O.I., Forster J.W. Screening for resistance to PVY in Australian potato germplasm. *Genes* (Basel). 2020;16;11(4):429. DOI: 10.3390/genes11040429
- Stark J.C., Thornton M., Nolte P. Potato production systems. Springer; 2020.
- Zoteyeva 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*. 2024a;185(2):201-209. [in Russian] (Зотеева Н.М., Косарева О.С., Рогозина Е.В., Чалая Н.А. Устойчивость сортов и гибридов коллекции картофеля ВИР к северо-западной популяции *Phytophthora infestans*. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024a;185(2):201-209). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-201-209
- Zoteyeva N.M., Porokhovina E.A., Fateev D.A., Chalaya N.A. Leaf and tuber resistance to *Phytophthora infestans* and relationship between these traits in wild potato species. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024b;185(1):172-183. [in Russian] (Зотеева Н.М., Пороховина Е.А., Фатеев Д.А., Чалая Н.А. Устойчивость листьев и клубней диких видов картофеля к *Phytophthora infestans* и взаимосвязь этих признаков. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024b;185(1):172-183). DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-172-183

### Информация об авторах

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

**Надежда Александровна Чалая**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [n.chalaya@vir.nw.ru](mailto:n.chalaya@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

**Ольга Сергеевна Косарева**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, [okosareva@vir.nw.ru](mailto:okosareva@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

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

### Information about the authors

**Elena V. Rogozina**, Dr. Sci. (Biology), 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, [rogozinaelena@gmail.com](mailto:rogozinaelena@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2743-068x>

**Nadezhda A. Chalaya**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [n.chalaya@vir.nw.ru](mailto:n.chalaya@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8515-7941>

**Olga S. Kosareva**, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, [okosareva@vir.nw.ru](mailto:okosareva@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0151-8349>

**Elena K. Khlestkina**, Dr. Sci. (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, 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](mailto:director@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 28.11.2025; одобрена после рецензирования 15.12.2025; принята к публикации 23.12.2025.

The article was submitted on 28.11.2025; approved after reviewing on 15.12.2025; accepted for publication on 23.12.2025.

Научная статья

УДК 635.9:582.951.63:57.082.26:631.527.8

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011



## Частные аспекты культивирования львиного зева *Antirrhinum majus* L. в условиях *in vitro*

И. В. Барабанов<sup>1</sup>, М. В. Васильева<sup>1</sup>, С. В. Жидяева<sup>2</sup>, Р. С. Рахмангулов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Научно-технологический университет «Сириус», Краснодарский край, Федеральная территория «Сириус», Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Иван Владимирович Барабанов, i.barabanov@vir.nw.ru

**Актуальность.** Однолетние декоративные культуры востребованы в озеленении общественных пространств и приусадебных участков, также выращиваются на срез в открытом грунте или в теплицах. Таким образом ускоренное получение качественно новых сортов декоративных растений требует вовлечения в работу биотехнологических методов, в частности, введения образцов растений в асептические условия, культивирования их *in vitro* и получения жизнеспособного органогенного каллуса. **Материалы и методы.** Объектом исследования выступили сорта *Antirrhinum majus* L. коллекции ВИР. Экспланты каждого сорта в виде молодых побегов с почками после стерилизации вводили в асептические условия, затем производили пассаж растений на питательные среды, содержащие регуляторы роста, способствующие ускоренному микроклональному размножению, ризогенезу или каллусогенезу. **Результаты и обсуждение.** Показана высокая эффективность введения растений *A. majus* в асептические условия. Подобраны среды для микроклонального размножения, корнеобразования и каллусогенеза. На всех средах отмечена высокая интенсивность образования новых побегов для черенкования. Наилучшие результаты корнеобразования наблюдались на средах с добавлением ИУК и НУК. Наибольшая эффективность каллусообразования наблюдалась на среде, содержащей 1 мг/л БАП, 1 мг/л 2,4-Д и 1 мг/л НУК. Подобраны субстраты для адаптации растений *ex vitro*, обеспечивающие высокую выживаемость образцов. **Заключение.** В исследовании отработаны методы культивации растений *A. majus* в условиях *in vitro*, от введения в асептические условия до адаптации к внешней среде. Оптимизированы условия для развития и поддержания жизнеспособного каллуса. Представленные в работе методики обеспечивают стабильное получение биологического материала для молекулярно-генетических исследований.

**Ключевые слова:** регуляторы роста, микроклональное размножение, каллусная культура, *Antirrhinum majus* L.

**Благодарности:** Статья подготовлена в рамках государственного задания № FGEM-2025-0008 «Разработка подходов ускоренной селекции для улучшения хозяйственно ценных признаков декоративных и ягодных культур».

**Для цитирования:** Барабанов И.В., Васильева М.В., Жидяева С.В., Рахмангулов Р.С. Частные аспекты культивирования львиного зева *Antirrhinum majus* L. в условиях *in vitro*. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):106-117. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011

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.

© Барабанов И.В., Васильева М.В., Жидяева С.В., Рахмангулов Р.С., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011

## Particular aspects of snapdragon *Antirrhinum majus* L. *in vitro* cultivation

Ivan V. Barabanov<sup>1</sup>, Marina V. Vasilyeva<sup>1</sup>, Serafima V. Zhidiyaeva<sup>2</sup>, Ruslan S. Rakhmangulov<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Krasnodar region, Russia

**Corresponding author:** Ivan V. Barabanov, i.barabanov@vir.nw.ru

**Background.** Annual ornamental crops are in demand in the landscaping of public spaces and private gardens, and are also grown outdoors or in greenhouses for cutting. The accelerated production of high-quality ornamental plant cultivars requires the use of biotechnological techniques, such as the introduction into aseptic conditions, *in vitro* cultivation, and viable organogenic callus production. **Materials and methods.** The study focused on the *Antirrhinum majus* L. cultivars from the VIR collection. The explants of each cultivar in the form of young shoots with buds were introduced into aseptic conditions after sterilization, and then the plants were transferred to media containing growth regulators that promote accelerated microclonal propagation, rhizogenesis, or callusogenesis. **Results and discussion.** The introduction of *A. majus* plants into aseptic conditions was highly effective. Media for microclonal propagation, root formation, and callusogenesis were selected. A high intensity of formation of new shoots for cuttings was observed on all cultivation media. The best results for root formation were achieved on media supplemented with IAA and NAA. The highest efficiency for callus formation was observed on a medium containing 1 mg/L of BAP, 1 mg/L of 2,4-D, and 1 mg/L of NAA. Substrates for *ex vitro* plant adaptation have been selected to ensure high survival rates of the specimens. **Conclusions.** In the course of the study, techniques for *A. majus* plants *in vitro* cultivation were developed, ranging from introduction to aseptic conditions to adaptation to the external environment. The conditions for the development and maintenance of a viable callus have been optimized. The techniques presented in the study ensure a stable supply of biological material for molecular genetic research.

**Keywords:** growth regulators, microclonal propagation, callus culture, *Antirrhinum majus* L.

**Acknowledgements:** The article was prepared within the framework of the State Assignment to VIR according to the Thematic Plan of Research, topic No. FGEM-2025-0008 “Development of accelerated breeding approaches to the improvement of economically important traits of ornamental and berry crops”.

**For citation:** Barabanov I.V., Vasilyeva M.V., Zhidiyaeva S.V., Rakhmangulov R.S. Particular aspects of snapdragon *Antirrhinum majus* L. *in vitro* cultivation. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):106-117. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-011

**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.

© Barabanov I.V., Vasilyeva M.V., Zhidiyaeva S.V., Rakhmangulov R.S., 2025

## Введение

Львиный зев *Antirrhinum majus* L. – популярная садовая и ценная декоративная культура, представляет собой однолетнее травянистое растение, культивируемое в средней полосе России. Для сортов львиного зева характерно соцветие кисть, цветки оригинальной формы и значительное разнообразие окраски венчика. Львиный зев – классическая модель для изучения молекулярно-генетических закономерностей формирования признаков, обеспечивающих декоративную ценность растения: форму и тип соцветия, тип цветка, компактность растения и окраску венчика (Martin et al., 1991, Bradley et al., 1996; Schwarz-Sommer et al., 2003; Zhang et al., 2005; Schwinn et al., 2006).

Круглогодичное ведение селекционного процесса, преодоление механизмов несовместимости, получение качественно новых признаков и, следовательно, ускоренное получение сортов хозяйственно значимых растений достигаются при помощи современных молекулярно-генетических и биотехнологических методов (Ryndin, Mokhno, 2012; Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Slepchenko, Pashchenko, 2021). Необходимость применения биотехнологических методов возникает не только в процессе селекции, но и по завершении создания сорта. При семенном размножении *A. majus* возможно возникновение в ряду поколений нежелательных фенотипов, частичная утрата декоративной ценности (Daneshvar, Hesami, 2016).

Сохранение сортовой специфики, приобретенных хозяйственно ценных признаков также является важной задачей селекционного процесса и может быть решена при помощи микрклонального размножения. Подобные методики дополняют традиционные методы сохранения разнообразия, обеспечивая возможность устойчивого управления генетическими ресурсами (Benson, 2002, Gavrilenko et al., 2022; Samarina et al., 2024).

Помимо селекционной работы и сохранения коллекций микрклональное размножение позволяет в кратчайшие сроки накопить растительный материал для молекулярно-генетических исследований. Сниженное вирусное и бактериальное воздействие на растения, культивируемые *in vitro*, позволяет, например, с меньшими затратами проводить выделение нуклеиновых кислот высокого качества, трудно достижимого при использовании растений, выращенных в открытом или защищенном грунте. Введение растений в асептические условия, формирование дублетных *in vitro* коллекций, получение каллусной культуры или культур изолированных протопластов – это промежуточные этапы генной инженерии, в частности проведения агробактериальной трансформации, редактирования генома методом CRISPR/Cas9, позволяющих преодолеть ограничения внутривидовой изменчивости (Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Rakhmangulov, 2022; Rakhmangulov et al., 2022;). Проведение подобных исследований требует тщательно отработанных методик

работы с культурой *in vitro*. Получение пригодного для дальнейшего использования каллуса, поддержание его жизнеспособности возможно при подборе оптимального сочетания и оптимальных концентраций регуляторов роста в питательной среде (Reinert, 1959; Street, 1966; Torrey, 1966; Halperin, 1966). Важный этап при получении каллусной культуры – подбор эксплантов, частей растения, вводимых в асептические условия. В ряде исследований, посвященных различным аспектам микрклонального размножения львиного зева, используются следующие типы эксплантов: семядоли, фрагменты стебля, листовые диски (Sangwan, Harada, 1975; Hesami, Daneshvar, 2016).

Заключительным этапом работы *in vitro* является достижение устойчивого и контролируемого развития органов в культивируемых тканях. В зависимости от условий культивирования и, в первую очередь, от содержащихся в среде биологически активных веществ, растительные ткани и отдельные клетки демонстрируют способность к регенерации растений либо через стадии эмбриогенеза, напоминающие развитие зародыша семени (Sangwan, Harada, 1975), либо через образование побегов и корней (Kolomiyets et al., 2016). В ходе исследований, посвященных культивированию львиного зева *in vitro*, было установлено, что гормоны различной природы и иные регуляторы роста оказывают специфическое воздействие на развитие экспланта. Ауксины, такие как индолилуксусная кислота (ИУК) и нафталинуксусная кислота (НУК), вызывают ограниченное развитие каллуса и обильное образование корней, тогда как 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д) способствует образованию мягкого рыхлого каллуса с зародышами и реже приводит к развитию толстых, аномальных корней. Кокосовое молоко и 2-нафтоксиуксусная кислота, используемые вместе, вызывают рост рыхлого зеленого каллуса и регенерацию из тотипотентных клеток некрупных округлых зародышей. Цитокинины, такие как бензиладенин, зеатин и кинетин, индуцировали компактный зеленый каллус, но в отсутствие ауксина не способствовали органогенезу. Совместное действие индолилуксусной кислоты и кинетина приводило к регенерации целого растения из стеблевых эксплантов. При использовании нафтилуксусной кислоты вместе с кинетином развитие побегов полностью подавлялось, но образовывались обильные корни (Sangwan, Harada, 1975).

В связи с этим на базе Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР) заложена дублетная *in vitro* коллекция сортов львиного зева большого *A. majus*. Поддержание подобной коллекции обеспечивает круглогодичный доступ к растительному материалу, свободному от бактериальной и грибковой контаминации, возможность быстро мобилизовать его для нужд молекулярно-генетических и биотехнологических исследований, а именно для выделения нуклеиновых кислот, агробактериальной трансформации. Культивирование растений *in vitro* является необходимой

составляющей как молекулярно-генетических исследований, так и современного селекционного процесса.

## Материалы и методы

На данный момент в асептических условиях поддерживаются восемь сортов *A. majus* коллекции ВИР (табл. 1).

**Таблица 1. Сорты львиного зева коллекции ВИР, культивируемые *in vitro***  
**Table 1. Snapdragon cultivars from the VIR collection, cultivated *in vitro***

№/ No.	Название сорта/ Cultivar name	Номер каталога ВИР/ VIR Catalogue number	Фенотип (окраска венчика)/ Phenotype (corolla coloration)
1	‘Черный Принц’	7115	Темно-красный
2	‘Вайс’	7512	Белый
3	‘Низкий Розовый’	11437	Розовый
4	‘Низкий Оранжевый’	11438	Оранжевый
5	‘Низкий желтый’	11439	Ярко-желтый
6	‘Навайо’	11682	Фиолетовый
7	‘Вильдрозе’	11888	Розовый
8	‘Розенскимммер’	13106	Насыщенный пурпурный

Культивируемые в асептических условиях сорта *A. majus* послужили материалом для ряда экспериментов, в том числе по:

1. оценке эффективности микрклонального размножения *in vitro*;
2. оценке эффективности корнеобразования на питательных средах с различным составом регуляторов роста;
3. оценке различных типов эксплантов на предмет эффективности каллусообразования на средах с разным сочетанием регуляторов роста;
4. выведению микрорастений из асептических условий, оценке приживаемости и корнеобразования на различных субстратах.

Введение растений в асептические условия проводили в три этапа:

1. подготовка растительного материала и питательных сред;
2. стерилизация растительного материала;
3. введение стерильных эксплантов в условия *in vitro*.

В качестве эксплантов использовали молодые побеги с почками без листьев. Побеги с апикальной почкой в экспериментах не использовали.

Стерилизацию проводили по протоколу, приведенному в таблице 2.

**Таблица 2. Протокол стерилизации эксплантов**  
**Table 2. Protocol for explants sterilization**

№/ No.	Действующее вещество/ Active substance	Время экспозиции, мин/ Exposure time, min	Примечание/ Note
1	Водный раствор поверхностно-активного вещества	15	На протяжении всего времени экспозиции производить перемешивание образцов круговыми движениями
2	10% раствор гипохлорита натрия (NaOCl)	10	
3	96% этиловый спирт (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	1	
4	Дистиллированная вода	5	Отмывка производится трехкратно, в стерильных условиях

Побеги помещали на питательную среду Мурасиге и Скуга (МС, MS) (Murashige, Skoog, 1962) с добавлением 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП).

Были подготовлены питательные среды для ускоренного микрклонального размножения, корнеобразова-

ния и индукции каллусогенеза. Варианты сред идентичны по базовому составу и основаны на питательной среде МС с добавлением 30 г/л сахарозы и 6 г/л агара, но характеризуются различными концентрациями регуляторов роста цитокининовой и ауксиновой природы (табл. 3).

Эксплантами для проведения указанных опытов являлись молодые листья, части стебля и узлы, которые были взяты с ранее введенных в асептические условия растений.

**Таблица 3. Состав регуляторов роста в питательных средах МС для микроклонального размножения, корнеобразования и каллусогенеза у *Antirrhinum majus* L**

**Table 3. Composition of growth regulators in nutrient media MS for microclonal propagation, root- and callus formation in *A. majus***

№/ No.	Эксперимент/ Experiment	Среда/ Medium	Содержание компонентов в 1 литре среды/ Component content in 1 L of medium			
			БАП (6-бензиламинопурин), мг/ BAP (6-benzylaminopurine), mg	НУК (нафталинуксусная кислота), мг/ NAA (naphthaleneacetic acid), mg	ИУК (индолилуксусная кислота), мг/ IAA (indole-3-acetic acid), mg	2,4-Д (дихлорфеноксиуксусная кислота), мг / 2,4-D (2,4-dichlorophenoxyacetic acid), mg
1	Контроль/ Control	МС1 (К-)	-	-	-	-
2	Микроклональное размножение/ Microclonal propagation	МС2	0,5	-	-	-
3		МС3	0,25	0,1	-	-
4		МС4	0,25	-	0,1	-
5	Индукция корнеобразования/ Induction of root formation	МС5	-	0,5	-	-
6		МС6	-	1	-	-
7		МС7	-	-	0,5	-
8		МС8	-	-	1	-
9		МС9	-	0,5	0,5	-
10		МС10	-	1	1	-
11	Индукция каллусогенеза и поддержание каллусной культуры/ Induction of callusogenesis and maintenance of callus culture	МС11	1	1	-	1
12		МС12	6	-	-	-
13		МС13	-	0,5	0,5	-
14		МС14	-	1	1	-
15		МС15	-	-	-	1

Заключительная стадия культивирования образцов львиного зева состояла в выведении растений из асептических условий, которое проводили в два этапа:

1. Первоначально извлеченные из культуральных сосудов растения нарезали на черенки с почками;
2. Черенки высаживали на различные субстраты.

Варианты состава субстратов приведены в таблице 4.

Статистическую достоверность различий между выборками, отличия эффективности сред в рамках одного сорта подтверждали при помощи программного обеспечения PAST3, применяя критерий Манна-Уитни (Mann, Whitney, 1947), при  $p < 0,05$ .

**Таблица 4. Субстраты для адаптации растений к условиям внешней среды**

**Table 4. Substrates for plant adaptation to environmental conditions**

№/ No.	Вариант субстрата/ Substrate variant	Субстрат, соотношение в долях/ Substrate, ratio in parts			
		Торф / Peat	Песок / Sand	Перлит / Perlite	Вермикулит / Vermiculite
1	А	1	-	-	-
2	Б	0,5	-	-	0,5
3	В	-	-	0,5	0,5
4	Г	0,7	0,3	-	-
5	Д	0,7	-	-	0,3

## Результаты и обсуждение

**Оценка эффективности стерилизации.** Простерилизованные черенки сортов *A. majus*, (см. табл. 1), были в двадцатикратной повторности введены в автоклавиру-

ванные культуральные сосуды (пробирки) на питательную среду МС2. Показана высокая выживаемость вводимых эксплантов. У единичных образцов имел место некроз, часть культуральных сосудов оказалась заражена бактериальной инфекцией (табл. 5). Прорастания плесневых грибов не отмечено.

**Таблица 5. Оценка эффективности стерилизации растительного материала**

**Table 5. Assessment of the effectiveness of plant material sterilization**

№/ No.	Сорт/ Cultivar	Жизнеспособных эксплантов, шт./ Viable explants, pcs.	Некроз/ Necrosis	Контаминация/ Contamination	Эффективность, %/ Efficiency, %
1	‘Черный Принц’	16	3	1	80
2	‘Вайс’	18	2	0	90
3	‘Низкий Розовый’	19	0	1	95
4	‘Низкий Оранжевый’	17	1	2	85
5	‘Низкий желтый’	17	2	1	85
6	‘Навайо’	14	2	4	70
7	‘Вильдрозе’	20	0	0	100
8	‘Розенскиммер’	20	0	0	100

Приведенные данные позволяют судить о том, что подобранная методика стерилизации, включая состав стерилизующих агентов и время экспозиции, позволяет эффективно вводить растения *A. majus* в асептические условия.

Растущие побеги со временем разделяли на экспланты по одному узлу в каждом (табл. 6), удаляли листовые пла-

стинки и повторно вводили в культуральные сосуды на идентичную среду, постепенно нарабатывая растительный материал для поддержания дублетной *in vitro* коллекции указанных сортов и постановки экспериментов, направленных на оптимизацию процесса культивирования львиного зева в асептических условиях.

**Таблица 6. Количество узлов, образовавшихся за месяц на одном побеге *Antirrhinum majus* L.**

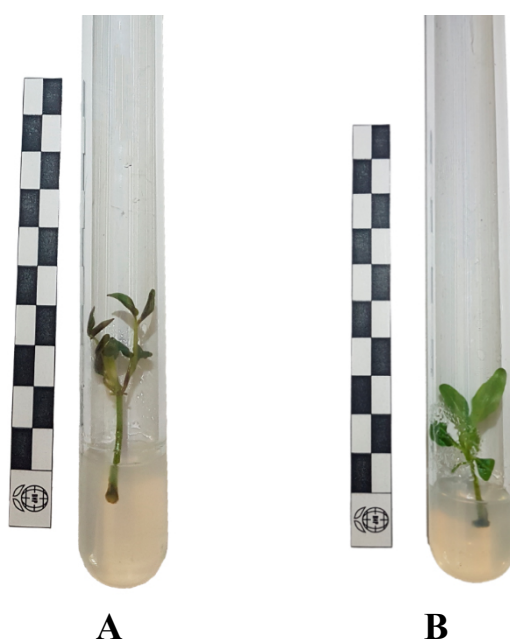
**Table 6. Number of nodes formed per month on one shoot of *A. majus***

№	Сорт/ Cultivar	Питательная среда/ Culture medium			
		МС1	МС2	МС3	МС4
1	‘Черный принц’	3,00±0,39	3,00±0,30	2,40±0,34 МС1*, МС2, МС4	3,00±0,30
2	‘Вайс’	3,20±0,29	3,30±0,26 МС4	3,70±0,37	4,30±0,26 МС1, МС2
3	‘Низкий желтый’	2,30±0,30	4,20±0,33	2,90±0,46 МС1	4,10±0,10 МС1
4	‘Низкий оранжевый’	3,00±0,33	2,60±0,34	2,80±0,29	2,80±0,25
5	‘Низкий розовый’	3,00±0,45	3,50±0,22	3,00±0,15	3,00±0,30
6	‘Навайо’	2,70±0,26	3,20±0,29	3,80±0,36 МС1	3,10±0,23
7	‘Вильдрозе’	5,30±0,58	4,70±0,52	5,50±0,58 МС4	3,80±0,25 МС1, МС3
8	‘Розенскиммер’	6,00±0,98	5,70±0,67	8,90±0,59 МС1, МС2	8,10±0,77 МС1, МС2
9	Среднее значение	3,56±0,47	3,77±0,36	4,12±0,76	4,02±0,62

\* – Значимые отличия от прочих сред для конкретного сорта указаны соответствующими номерами, например, в графе МС3 указаны среды МС1, МС2, МС4, на которых получены статистически отличающиеся результаты/ Significant differences from other environments for a specific cultivar are indicated by the corresponding numbers, for example, in the column МС3, environments МС1, МС2, МС4 are indicated, on which statistically different results were obtained

**Подбор питательных сред для повышения эффективности микроклонального размножения.** Оценка эффективности микроклонального размножения проводилась через месяц после введения черенков на указанные в таблице 3 питательные среды (рис. 1А, В). Показано, что внесение в питательную среду 0,1 мг/л ИУК и 0,1 мг/л НУК не оказывает значимого влияния на интенсивность образования микропобегов, однако повышение эффек-

тивности микроклонального размножения при использовании ИУК наблюдалось у отдельных сортов – ‘Вайс’, ‘Вильдрозе’, ‘Розенскиммер’, ‘Низкий желтый’. Часть сортов, ‘Черный Принц’, ‘Навайо’, ‘Розенскиммер’, ‘Низкий желтый’, также демонстрировала небольшое, но статистически значимое повышение эффективности микроклонального размножения на среде МС3, с добавлением 0,1 мг/л НУК.



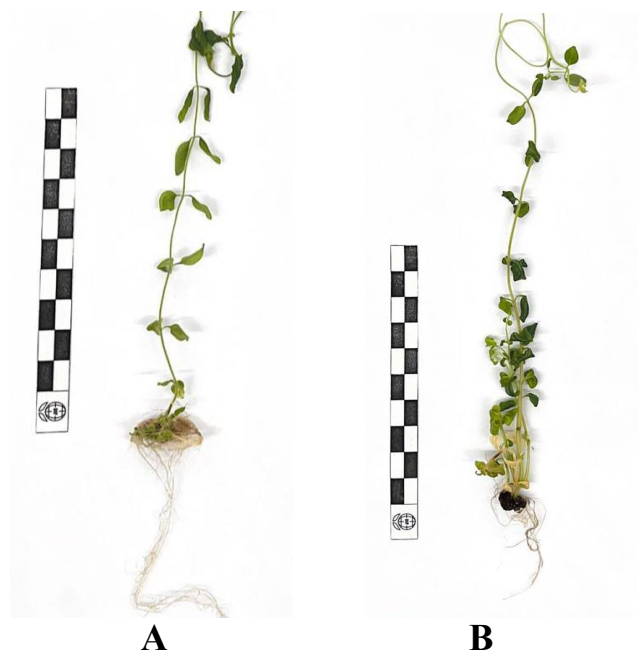
**Рис 1. Растения *Antirrhinum majus* L сортов ‘Вильдрозе’ (А) и ‘Вайс’ (В), культивируемые в условиях *in vitro*, среда МС1**

**Fig 1. Plants of snapdragon ‘Wildrose’ (A) and ‘Weiss’ (B) cultivated *in vitro* on MS1 medium**

Значительное превышение среднего количества узлов для вариантов на каждой среде показано для сортов ‘Вильдрозе’ и ‘Розенскиммер’, при этом показатели сорта ‘Розенскиммер’ превышали средние более, чем в два раза: 8,9 против 4,12 узлов на среде МС3 и 8,1 против 4,02 на среде МС4. Исследования в рамках данной темы демонстрируют схожие результаты: значимо интенсивность микроклонального размножения отличается именно от сорта к сорту (Sangwan, Narada, 1975; Newbury, 1986). В исследовании, проведенном в Бирмингемском университете (Великобритания), наивысшая зарегистрированная эффективность микроклонального размножения на среде МС+1 мг/л БАП (Newbury, 1986), сопоставима с таковой для контроля МС1 в нашем исследовании, различия есть, но они статистически незначимы.

**Индукция корнеобразования.** Наилучшие результаты по количеству корней первого порядка у исследуемых сортов получены на средах МС7 и МС8, содержащих 0,5 мг/л ИУК и 1 мг/л НУК, соответственно. На МС7 среднее число корней первого порядка достигало 2,43, на МС8 – 3,23. Результаты, значительно превышающие средние для всех сортов, отмечены у сорта ‘Вильдрозе’, 7,26 и 8,93 корня соответственно (рис. 2А, В).

Прочие результаты, а также результаты статистической обработки, приведены в таблице 7. Активизация корнеобразования при внесении идентичных регуляторов роста отмечена и другими исследователями, также показано активное образование корней, связанное с добавлением к среде гетероауксина (ИМК) (Newbury, 1986; Poirier-Hamon et al., 1974).



**Рис. 2. Растительный материал *Antirrhinum majus* L., культивируемый в условиях *in vitro***  
 А. Корневая система сорта 'Вильдрозе', среда МС7 В. Корневая система сорта 'Розенскиммер', среда МС8

**Fig. 2. *A. majus* plant material cultivated *in vitro***

A. Root system of snapdragon 'Wildrose' on MS7 medium. B. Root system of snapdragon 'Rosenskimmer' on MS8 medium.

**Таблица 7. Количество корней первого порядка у сортов *Antirrhinum majus* L. на среде МС с различными сочетаниями фитогормонов**

**Table 7. The number of first-order roots in *A. majus* cultivars on MS medium with different combinations of phytohormones**

Сорт/ Cultivar	Питательная среда / Culture medium						
	МС1	МС5	МС6	МС7	МС8	МС9	МС10
'Черный принц'	0	0,7±0,52	0,06±0,06	0,67±0,37	0	0	0,25±0,18
'Вайс'	2,64±1,04 МС5*, МС6, МС9, МС10	0,41±0,42 МС7, МС8	0,15±0,10	4,2±0,71 МС1, МС5, МС6, МС9, МС10	2,28±0,44 МС5, МС6, МС9, МС10	0,93±0,53 МС1, МС7, МС8	0,71±0,51 МС1, МС7, МС8
'Низкий желтый'	0	2±1,26	0,16±0,11	1,7±0,93	0,63±0,54	2,1±0,85	0,3±0,21
'Низкий оранжевый'	0	0,67±0,47	1,17±0,65	0,90±0,41	2,70±0,42	0	1,80±1,21
'Низкий розовый'	2,80±1,15	1,29±0,41	0,64±0,27 МС1, МС6, МС7, МС10	1,62±0,42	2,08±0,42	2,43±1,78	4,86±2,20
'Навайо'	2,25±0,84	2,4±0,63	2±0,47	1,08±0,56	3,16±0,95	0 МС5, МС6, МС8	0,08±0,08 МС5, МС6, МС8
'Вильдрозе'	2,73±0,81 МС5, МС6, МС8, МС9, МС10	0,06±0,07	0,46±0,47	7,26±0,57 МС1, МС5, МС6, МС8, МС9, МС10	8,93±0,90 МС1, МС5, МС6, МС7, МС9, МС10	3,46±1,81	0,28±0,29
'Розен скиммер'	2,26±0,80	3,46±0,98	2,13±0,72	2±0,52	6,16±1,98 МС1, МС6	0 МС5, МС6, МС8	0,26±0,15 МС5, МС6, МС8
Среднее значение/ Average value	1,59±0,47	1,47±0,41	0,96±0,29	2,43±0,79	3,23±1,04	1,12±0,49	1,07±0,57

\* Значимые отличия от прочих сред для конкретного сорта указаны соответствующими номерами, как в таблице 6/  
 Significant differences from other environments for a specific cultivar are indicated by the corresponding numbers, as in Table 6

**Индукция каллусогенеза и поддержание каллусной культуры.** Предварительно отобранные для постановки эксперимента по инициации каллусообразования листовые и стеблевые экспланты львиного зева сортов были высажены на обозначенные питательные среды в тридцатикратной повторности. Подавляющее большинство листовых эксплантов показали образование первичного каллуса, но вскоре после этого подверглись некротиче-

ским изменениям на всех средах. Стеблевые экспланты продемонстрировали лучшую выживаемость. Наибольшая эффективность каллусообразования наблюдалась на среде МС11, содержащей по 1 мг на литр БАП, 2,4-Д, НУК. Ни один из стеблевых эксплантов не подвергся некрозу на указанной среде. Полные данные приведены в таблице 8.

**Таблица 8. Развитие каллуса *Antirrhinum majus* L. на различных питательных средах**  
**Table 8. Callus development in *A. majus* on various culture media**

№	Сорт, тип экспланта/ Cultivar, explant type	Вариант питательной среды/ Culture medium variant	Число эксплантов/ Number of explants	Количество жизнеспособных каллусов, шт./ Number of viable calli, pcs.	Процент жизнеспособных каллусов, %/ Percentage of viable calli, %	Количество регенерантов, шт./ Number of regenerants, pcs.	Среднее количество регенерантов на каллус, шт./ Average number of regenerants per callus, pcs.
1.	‘Вильдрозе’ листовые экспланты	МС1	30	2	6,67	-	-
		МС11	30	-	-	-	-
		МС12	30	-	-	-	-
		МС13	30	-	-	-	-
		МС14	30	-	-	-	-
		МС15	30	-	-	-	-
2.	‘Вильдрозе’ стеблевые экспланты	МС1	30	-	-	-	-
		МС11	30	30	100,00	-	-
		МС12	30	2	6,67	-	-
		МС13	30	25	83,33	2	0,08±0,02
		МС14	30	2	6,67	-	-
		МС15	30	9	30,00	7	0,78±0,07
3.	‘Розенскиммер’ листовые экспланты	МС1	30	-	-	-	-
		МС11	30	1	3,33	-	-
		МС12	30	4	13,33	-	-
		МС13	30	-	-	-	-
		МС14	30	-	-	-	-
		МС15	30	-	-	-	-
4.	‘Розенскиммер’ стеблевые экспланты	МС1	30	-	-	-	-
		МС11	30	30	100,00	-	-
		МС12	30	1	3,33	-	-
		МС13	30	23	76,67	3	0,13±0,04
		МС14	30	19	63,33	-	-
		МС15	30	15	50,00	5	0,33±0,06

На средах МС13 и МС15 наблюдалось корнеобразование из каллуса, что может служить аргументом для использования этих сред для получения растений-реге-

нерантов (Рис. 3А). Показано, что приблизительно через четыре недели развитый каллус на среде МС11 начинает постепенно погибать, приобретая коричневый отте-

нок. Продлить срок жизни каллуса удалось при помощи добавления к указанной среде тидиазурона (ТДЗ) в концентрации 1 мг/л. С таким сочетанием регуляторов роста развивался более светлый и обводненный каллус, чем на МС11 без внесения ТДЗ, однако срок жизни каллуса удалось увеличить двукратно – до восьми недель (Рис. 3В).

Данные из литературы, посвященной каллусогенезу, подтверждают положительное влияние НУК, ИУК, БАП, 2,4-Д на каллусообразование, однако для львиного зева не приводятся их сочетания, использованные в нашем исследовании (Hesami, Daneshvar, 2016; Sangwan, Harada, 1975; Poirier-Hamon et al., 1974).



**Рис 3. Растительный материал *Antirrhinum majus* L., культивируемый в условиях *in vitro***

А. Каллусная ткань сорта ‘Розенскиммер’, среда МС13, ризогенез. В. Каллусная ткань сорта ‘Вильдрозе’ на среде МС15

**Fig 3. *A. majus* plant material cultivated *in vitro***

A. Callus tissue of snapdragon ‘Rosenskimmer’ on MS13 medium, rhizogenesis. B. Callus tissue of snapdragon ‘Wildrose’ on MS15 medium.

**Адаптация к условиям *ex vitro*.** Была проведена проверка адаптации растений сортов ‘Вайс’, ‘Вильдрозе’ и ‘Розенскиммер’ к условиям *ex vitro* (табл. 9) Указанные сорта показали наибольшую интенсивность корнеобразования и микроклонального размножения на питатель-

ных средах. Однако при культивировании микрорастений сорта ‘Розенскиммер’ вне пробирки у них наблюдалась низкая выживаемость и плохо формировались корни, что связано, вероятнее всего, с качеством растительного материала, переносимого на субстраты.

**Таблица 9. Выживаемость эксплантов, переносимых на субстраты в условиях климатических камер**

**Table 9. Survival rate of explants introduced onto substrates under climatic chamber conditions**

№	Сорт/ Cultivar	Выживших эксплантов из 15/ Explants survived out of 15				
		А	Б	В	Г	Д
1	‘Вайс’	13	14	14	12	7
2	‘Вильдрозе’	14	9	11	7	7
3	‘Розенскиммер’	12	10	12	12	13

Наибольшая эффективность корнеобразования показана на субстрате В, содержащем перлит и вермикулит в равных пропорциях: 3,82 корня для сорта ‘Вайс’ и 5,07 для сорта ‘Вильдрозе’, а также на торфе с добавлением вермикулита, при этом для сорта ‘Вайс’ наиболее удачной оказалась пропорция 1:1 (субстрат Б), для сорта ‘Вильдрозе’ – сочетание 30% вермикулита и 70% торфа (субстрат Г). Данные по корнеобразованию *ex vitro* представлены в таблице 10. Важно отметить, что высокие показатели выживаемости на субстрате, содержащем перлит и вермикулит в равных пропорциях, приведены также в литературе (Newbury, 1986).

Укоренившиеся образцы были пересажены в индивидуальные сосуды с грунтом и доведены до цветения, что свидетельствует в пользу высокой жизнеспособности растений, выращенных в асептических условиях.

### Заключение

Таким образом, отработана методика микроклонального размножения образцов *Antirrhinum majus* L., от введения в асептические условия *in vitro* до адаптации к внешней среде. Показано, что внесение 0,1 мг/л ИУК или НУК в сочетании с 0,25 мг/л 6-БАП в состав пита-

тельной среды дает незначительное повышение интенсивности образования новых узлов на растении, а внесение 1 мг/л ИУК без добавления цитокининов вдвое повышает эффективность корнеобразования у растений *A. majus*, культивируемых *in vitro*. Подобрана оптимальная среда для развития и поддержания жизнеспособного каллуса: МС с добавлением БАП, нафталинуксусной и 2,4-Д в соотношении 1:1:1 и концентрации 1 мг/л. Определен оптимальный субстрат для адаптации выведенных из *in vitro* растений к нестерильным условиям.

Наличие постоянно культивируемой дублетной *in vitro* коллекции обеспечивает постоянный доступ исследователя к высококачественному биологическому материалу, который в дальнейшем может быть вовлечен в молекулярно-генетические исследования. Описанные выше методики – один из необходимых этапов подготовки к агробактериальной трансформации или редактированию генома методом CRISPR/Cas. Дальнейшая работа предполагает подбор сред для регулярного, предсказуемого органогенеза и поддержания молодых растений регенерантов, а затем переход к упомянутым выше методикам редактирования и получение растений с требуемыми характеристиками.

## References/Литература

- Bradley D., Carpenter R., Copsey L., Vincent C., Rothstein S., Coen E. Control of inflorescence architecture in *Antirrhinum*. *Nature*. 1996;379(6568):791-797. DOI: 10.1038/379791a0
- Gavrilenko T.A., Dunaeva S.E., Tikhonova O.A., Chukhina I.G. New approaches to registration and preservation of domestic varieties of berry crops in the VIR genebank using the example of common raspberry and black currant. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):24-38. [in Russian] (Гавриленко Т.А., Дунаева С.Е., Тихонова О.А., Чухина И.Г. Новые подходы к регистрации и сохранению отечественных сортов ягодных культур в генбанке ВИР на примере малины обыкновенной и смородины черной. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):24-38). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o5
- Halperin W. Single cells, coconut milk, and embryogenesis *in vitro*. *Science*. 1966;153(3741):1287-1288. DOI: 10.1126/science.153.3741.1287.b
- Hesami M., Daneshvar M.H. Regeneration from callus which is produced from cotyledon of *Antirrhinum majus*. *Indo-American Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*. 2016;1(4):20-24. DOI: 10.1007/ijlbrp\_56e24b27b7a3f
- Kolomiyets T.M., Malyarovskaya V.I., Samarina L.S., Rakhmangulov R.S. Acclimatization of *Campanula sclerophylla* Kolak. propagated *in vitro* to non sterile growth conditions. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2016;58:95-99. [in Russian] (Коломиец Т.М., Мальяровская В.И., Самарина Л.С., Рахмангулов Р.С. Адаптация растений *Campanula sclerophylla* Kolak. *in vitro* к нестерильным условиям среды. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2016;(58):95-99).
- Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*. 1947;18(1):50-60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491
- Martin C., Prescott A., Mackay S., Bartlett J., Vrijlandt E. Control of anthocyanin biosynthesis in flowers of *Antirrhinum majus*. *Plant Journal*. 1991;1(1):37-49. DOI: 10.1111/j.1365-313x.1991.00037.x
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Newbury H.J. Multiplication of *Antirrhinum majus* L. by shoot-tip culture. *Plant Cell*. 1986;7(1):39-42. DOI: 10.1007/bf00043919
- Poirier-Hamon S., Rao P.S., Harada H. Culture of mesophyll protoplasts and stem segments of *Antirrhinum majus* (snapdragon): growth and organization of embryoids. *Journal of Experimental Botany*. 1974;25(4):752-760. DOI: 10.1093/jxb/25.4.752
- Rakhmangulov R.S. Application of the CRISPR/Cas system for gene editing in ornamental crops. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(3):33-41. [in Russian] (Рахмангулов Р.С. Применение системы CRISPR/Cas для редактирования генов декоративных культур. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(3):33-41). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-o1
- Rakhmangulov R.S., Barabanov I.V., Erastenkova M.V., Ivanov A.A., Kovalenko T.V., Mezhdina K.M., Petrosyan I.A., Kharchenko A.A., Shaimardanov D.YU., Shaimardanova E. Kh., Anisimova I.N., Tikhonova N.G., Ukhatova YU.V., Khlestkina E.K. The new directions in genetics, breeding and biotechnology of ornamental and berry crops in the N.I. Vavilov institute of plant genetic resources (VIR). *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(4):65-78. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Барабанов И.В., Ерастенкова М.В., Иванов А.А., Коваленко Т.М., Межина К.М., Петросян И.А., Харченко А.А., Шаймарданов Д.Ю., Шаймарданова Э.Х., Анисимова И.Н., Тихонова Н.Г., Ухатова Ю.В., Хлесткина Е.К. Новые направления в генетике, селекции, биотехнологии декоративных и ягодных культур в ВИР им. Н.И. Вавилова. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(4):65-78). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-4-o3
- Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G. Breeding of ornamental plants in Russia. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):40-54. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г. Селекция декоративных растений в России. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):40-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-o4
- Reinert J. Über die Kontrolle der Morphogenese und die Induktion von Adventivembryonen an Gewebekulturen aus Karotten. *Planta*. 1959;53(4):318-333. DOI: 10.1007/bf01881795 [in German]
- Ryndin A.V., Mokhno V.S. Creating new genotypes in Gerbera. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences = Vestnik Rossiyskoy Akademii Sel'skokhozyaystvennykh Nauk*. 2012;(5):24-26. [in Russian] (Рындин А.В., Мохно В.С. Создание новых генотипов герберы. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012;(5):24-26).
- Samarina L., Malyukova L., Wang S., Bobrovskikh A., Doroshkov A., Shkhalakhova R., Manakhova K., Koninskaya N., Matskiv A., Ryndin A., Khlestkina E., Orlov Yu. *In vitro* vs. *in vivo* transcriptomic approach revealed core pathways of nitrogen deficiency response in tea plant (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25:117-126. DOI: 10.3390/ijms252111726
- Sangwan R.S., Harada H. Chemical regulation of callus growth, organogenesis, plant regeneration, and somatic embryogenesis in *Antirrhinum majus* tissue and cell cultures. *Journal of Experimental Botany*. 1975;26:868-881. DOI: 10.1093/jxb/26.6.868
- Schwarz-Sommer Z., Davies B., Hudson A. An everlasting pioneer: the story of *Antirrhinum* research. *Nature Reviews Genetics*. 2003;4:655-664. DOI: 10.1038/nrg1127
- Schwinn K., Venail J., Shang Y., Mackay S., Alm V., Butelli E., Oyama R., Bailey P., Davies K., Martin C. A small family of MYB-regulatory genes controls floral pigmentation intensity and patterning in the genus *Antirrhinum*. *The Plant Cell*. 2006;18(4):831-851. DOI: 10.1105/tpc.105.039255
- Slepchenko N.A., Paschenko O.I. Composition and condition of perennial herbaceous flower crops collection of FRC SSC of RAS. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2021;76:66-80. [in Russian] (Слепченко Н.А., Пашенко О.И. Состав и состояние коллекции многолетних травянистых цветочных культур ФИЦ ШЦ РАН. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2021;(76):66-80). DOI: 10.31360/2225-3068-2021-76-66-80
- Street H.E. Growth, differentiation and organogenesis in plant tissue and organ cultures. In: E.N. Willmer (ed.). *Cell and Tissue in Culture. Methods, Biology and Physiology*. London, New York: Academic press; 1966. Vol. 3, ch. 10. p.631-690.
- Torrey J.G. The initiation, of organized development in plants. In: M. Abercrombie, Jean Brachet (eds). *Advances in Morphogenesis*.

### ***Информация об авторах***

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

**Марина Васильевна Васильева**, ведущий специалист, отдел генетических ресурсов плодовых культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, vasilieva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8687-1592>

**Серафима Валерьевна Жидяева**, младший научный сотрудник, Научный центр генетики и наук о жизни, Научно-технологический университет «Сириус», 354340 Россия, Краснодарский край, Федеральная территория «Сириус», Олимпийский пр., 1, zhidiyeva.sv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2982-0115>

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

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

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

**Marina V. Vasilyeva**, Leading Specialist, Department of Fruit Crop Genetic Resources, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, vasilieva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8687-1592>

**Serafima V. Zhidiyeva**, Junior Researcher, Research Center for Genetics and Life Sciences, Sirius University of Science and Technology, 1, Olympic Avenue, Sirius Federal Territory, Krasnodar Region, 354340 Russia, zhidiyeva.sv@talantiuspeh.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2982-0115>

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

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 21.10.2025; одобрена после рецензирования 17.12.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted on 21.10.2025; approved after reviewing on 17.12.2025; accepted for publication on 24.12.2025.

Научная статья

УДК 635.33:631.524.7

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-012



## Полиморфизм линий удвоенных гаплоидов репы листовой *Brassica rapa* L., полученных в культуре изолированных микроспор *in vitro*

А. Б. Курина<sup>1</sup>, А. А. Асланова<sup>1</sup>, Е. В. Козарь<sup>2</sup>, Е. А. Домблидес<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Федеральный научный центр овощеводства, Московская область, Россия

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

**Актуальность.** Создание высокопродуктивных и питательных сортов листовой репы *Brassica rapa* L. традиционными методами селекции является длительным процессом. Применение биотехнологических методов, в частности получение удвоенных гаплоидных (ДН) линий *in vitro*, позволяет значительно ускорить создание гомозиготных форм и раскрыть генетический потенциал гибридов. Целью исследования была оценка ДН-линий листовой репы, полученных из гибрида F<sub>1</sub> Torazirok, по комплексу хозяйственно ценных морфологических и биохимических признаков. **Материалы и методы.** Объектом исследования послужили гибрид листовой репы F<sub>1</sub> Torazirok (к-330, Япония) и полученные из него в культуре изолированных микроспор *in vitro* 15 ДН-линий. Растения выращивали в контролируемых условиях климатической камеры. Проведено морфологическое описание растений и биохимический анализ содержания фотосинтетических пигментов: хлорофиллов *a*, *b*, каротиноидов, β-каротина спектрофотометрическим методом. **Результаты и обсуждение.** Выявлен значительный полиморфизм в пределах ДН-линий и гибрида F<sub>1</sub>. Продолжительность вегетационного периода варьировала от 41 до 52 дней. Диаметр розетки был в пределах 20,5 и 40,3 см, масса надземной части растения – 0,15 и 0,33 кг. Содержание β-каротина колебалось от 2,6 до 6,3 мг/100 г сырого вещества. Выделены линии, достоверно превосходящие исходный гибрид по ключевым признакам: ДН 8 – по продуктивности (масса 0,33 кг) и содержанию β-каротина (6,3 мг/100 г); ДН 4 – по диаметру розетки (40,3 см) и массе (0,31 кг); ДН 2 и ДН 5 – по содержанию β-каротина (5,6 и 5,2 мг/100 г соответственно). Линия ДН 2 сочетает скороспелость (41 день), высокую продуктивность и максимальное содержание каротиноидов. **Заключение.** Метод культуры изолированных микроспор эффективен для быстрого создания генетически разнообразного и гомозиготного селекционного материала листовой репы. Полученный спектр ДН-линий является ценным источником для селекции. Выделены перспективные линии-доноры: ДН 2 и ДН 8 – для скороспелости и повышенного содержания β-каротина; ДН 4 и ДН 8 – для высокой продуктивности. Наши результаты являются подтверждением того, что применение гаплоидных технологий позволяет не только фиксировать хозяйственно ценные признаки, но и усиливать их, предоставляя готовый материал для генетических исследований и создания новых сортов.

**Ключевые слова:** гаплоидные технологии, репа листовая, изменчивость, пигментный состав, морфологические признаки

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0007 «Клеточные технологии для расширения селекционного потенциала культур овощного направления использования»

**Для цитирования:** Курина А.Б., Асланова А.А., Козарь Е.В., Домблидес Е.А. Полиморфизм линий удвоенных гаплоидов репы листовой *Brassica rapa* L., полученных в культуре изолированных микроспор *in vitro*. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):118-126. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-012

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

© Курина А.Б., Асланова А.А., Козарь Е.В., Домблидес Е.А., 2025

Original article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-012

## Polymorphism of leaf turnip *Brassica rapa* L. doubled haploid lines produced in isolated microspore *in vitro* culture

Anastasia B. Kurina<sup>1</sup>, Anastasia A. Aslanova<sup>1</sup>, Elena V. Kozar<sup>2</sup>, Elena A. Domblides<sup>2</sup><sup>1</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup> Federal Scientific Vegetable Center, Moscow Region, Russia**Corresponding author:** Anastasia B. Kurina, a.kurina@vir.nw.ru

**Background.** The development of high-yielding and nutritious cultivars of leaf turnip *Brassica rapa* L. using traditional breeding methods is a lengthy process. The application of biotechnological methods, particularly the production of doubled haploid (DH) lines *in vitro*, significantly accelerates the creation of homozygous forms and unlocks the genetic potential of hybrids. The aim of the research was to evaluate DH-lines of leaf turnip, produced from the F<sub>1</sub> Torazirok hybrid, for a set of economically important morphological and biochemical traits. **Materials and methods.** The object of the study was the leaf turnip F<sub>1</sub> Torazirok hybrid (k-330, Japan) and 15 DH lines derived from it through *in vitro* isolated microspore culture. Plants were grown under controlled conditions in a climate chamber. The plants were described morphologically, and biochemical analysis of the content of photosynthetic pigments chlorophylls *a*, *b*, carotenoids, and  $\beta$ -carotene was performed by spectrophotometry. **Results and discussion.** Significant polymorphism has been revealed between the DH lines and the F<sub>1</sub> hybrid. The duration of the vegetative period varied from 41 to 52 days. Rosette diameter ranged from 20.5 to 40.3 cm, and the above-ground plant mass from 0.15 to 0.33 kg.  $\beta$ -carotene content fluctuated from 2.6 to 6.3 mg/100 g of fresh weight. The lines that were found to significantly surpass the original hybrid in key traits were DH 8 – in productivity with the mass of 0.33 kg and  $\beta$ -carotene content (6.3 mg/100 g); DH 4 – in rosette diameter (40.3 cm) and the mass of 0.31 kg; DH 2 and DH 5 – in  $\beta$ -carotene content (5.6 and 5.2 mg/100 g, respectively). The DH 2 line combines early maturity (41 days), high productivity, and maximum carotenoid content. **Conclusions.** The isolated microspore culture method is effective for the rapid creation of genetically diverse and homozygous leaf turnip breeding material. The obtained range of DH-lines is a valuable source for breeding. Promising donor lines have been identified: DH 2 and DH 8 – for early maturity and increased  $\beta$ -carotene content; DH 4 and DH 8 – for high productivity. The results confirm that the haploid technology allows not only for the fixation but also for the enhancement of economically important traits, providing ready-made material for genetic research and the creation of new cultivars.

**Keywords:** haploid technologies, leaf turnip, variability, pigment composition, morphological traits

**Acknowledgements:** The research was performed within the framework of the State Assignment according to the Theme Plan of VIR, Project No. FGEM-2025-0007 “Cell technologies for expanding the breeding potential of vegetable crops”

**For citation:** Kurina A.B., Aslanova A.A., Kozar E.V., Domblides E.A. Polymorphism of leaf turnip *Brassica rapa* L. doubled haploid lines produced in isolated microspore *in vitro* culture. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):118-126. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-012

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

© Kurina A.B., Aslanova A.A., Kozar E.V., Domblides E.A., 2025

## Введение

В настоящее время перед селекционерами стоит задача по ускоренному созданию высокопродуктивных, адаптивных и высокопитательных сортов и гибридов сельскохозяйственных растений. Традиционные методы селекции, основанные на многолетнем отборе и инбридинге для получения гомозиготных линий, делают процесс получения новых сортов трудоемким и длительным, что не отвечает современным требованиям (Aleksandrova, Monakhos, 2024; Kozar, Domblides, 2024).

В селекции и генетических исследованиях капустных культур для ускоренного создания чистых линий, удвоенных гаплоидов или ДН-линий, в настоящее время активно применяются биотехнологические методы (Pivovarov et al., 2015; Shumilina et al., 2021; Nikitin, 2024). В отличие от классических методов селекции, с помощью гаплоидных технологий можно получать полностью гомозиготные растения за один-два года, что позволяет значительно ускорить селекционный процесс (Bochkaryova et al., 2019). ДН-технологии позволяют не только ускоренно получать гомозиготные линии, но и эффективно использовать генетический потенциал гибридных комбинаций за счет рекомбинаций генов на гаплоидном уровне, что позволяет получать широкий спектр генотипов, включая уникальные комбинации аллелей, которые могут быть стабильно фиксированы в гомозиготном состоянии в одном поколении для последующего использования в селекционных программах (Kozar et al., 2019; Aleksandrova, Monakhos, 2024; Kozar et al., 2025).

Листовая репа *Brassica rapa* L. широко возделываемая в Юго-Восточной Азии и представленная сортогруппами, такими как комацуна, курона, хирошимана, является перспективной культурой для расширения ассортимента функционального питания в других регионах мира, включая Россию (Artemyeva, 2017; Kubo et al., 2019). Она характеризуется скороспелостью (вегетационный период 35-70 дней), высокой урожайностью зеленой массы, холодостойкостью и богатым биохимическим составом. Листья являются ценным источником не только витаминов, таких как С, К, группы В, но и каротиноидов, в частности β-каротина – мощного антиоксиданта и предшественника витамина А, дефицит которого остается серьезной проблемой питания в мире (Zhang et al., 2014; Stepanov et al., 2015). Однако генетический потенциал листовой репы для селекции на повышенное содержание биоактивных веществ изучен недостаточно, а существующий сортимент часто ограничен (Kornuyukhin, Artemyeva, 2022).

Основные направления селекции этой культуры включают скороспелость, продуктивность, устойчивость к листогрызущим вредителям, а также качество листьев, которое заключается в отсутствии опушения, нежной консистенции, хорошем вкусе, ценном биохимическом составе (Kornuyukhin, Artemyeva, 2022). Таким образом, использование гаплоидных технологий для листовой

репы открывает возможности для быстрого создания генетически разнообразного материала. Изучение полиморфизма полученных ДН-линий по хозяйственно ценным и биохимическим признакам является ключевым этапом для отбора источников и доноров ценных свойств и создания новых сортов и гибридов.

Целью наших исследований была оценка ДН-линий репы листовой по комплексу хозяйственно ценных признаков, полученных в культуре изолированных микроспор *in vitro*.

## Материалы и методы

Объектом исследования были гибрид репы листовой F<sub>1</sub> Torazirok (к-330, Япония) и полученные из него в культуре изолированных микроспор *in vitro* 15 ДН-линий, которые являлись результатом спонтанного удвоения числа хромосом в ходе образования растений регенерантов из гаплоидных микроспор. Гибрид F<sub>1</sub> Torazirok был выбран в качестве донора ДН в связи с легкостью получения на его основе удвоенных гаплоидов, а также благодаря его ценным биохимическим свойствам и устойчивости к раннему стрелкованию (Artemyeva, 2004).

Семена гибрида высевали в количестве шести штук и выращивали в горшках объемом 3 л с субстратом, состоящим из смеси торфа и перлита (7:3), в климатической камере при 16/8-часовом фотопериоде и интенсивности света 9000 люкс и постоянной температуре 20°C.

Линии удвоенных гаплоидов были получены согласно протоколу Домблидес и соавторов (Domblides et al., 2016) на безгормональных средах и без применения антимитотических веществ. Способ изоляции микроспор был модифицирован. Клетки с ядрами определенной ploidy отбирали с помощью проточной цитометрии согласно опубликованному протоколу (Fomicheva et al., 2025).

ДН-растения размножали методом микроклонального размножения в условиях *in vitro* на безгормональных средах MS (Murashige, Skoog, 1962) согласно протоколу, разработанному в лаборатории репродуктивной биотехнологии в селекции сельскохозяйственных растений (Domblides et al., 2016; Kozar et al., 2022), до шести микроклонов, полученных от каждого эмбриоида. Растения с нормально развитыми листьями и корневой системой в условиях *in vitro* адаптировали к условиям *ex vitro* путем пересадки в вегетационные ёмкости, заполненные смесью торфа и перлита (7:3), растения накрывали перфорированными пластиковыми стаканчиками, после адаптации растений стаканчики убирали. Регенеранты выращивали в тех же климатических условиях, что и гибридные растения. Перед адаптацией к условиям *ex vitro* у всех микроклонов определяли ploidy ядер клеток с помощью проточной цитометрии (Fomicheva et al., 2025).

Морфологическое описание растений проводили по опубликованной схеме (Boos et al., 1988). Биохимический анализ содержания пигментов в растениях в фазе техни-

ческой спелости проводили по методике отдела биохимии и молекулярной биологии ВИР (Ermakov et al., 1987). Хлорофиллы и каротиноиды были выделены с использованием 100% ацетона, и их абсорбция была измерена на спектрофотометре LKB ULTROSPEC II Biochrom (Pharmacia, UK) при различных длинах волн (нм): 662, 645 для хлорофиллов *a* и *b*, 470 – для каротиноидов, 454 – для каротинов, 454 – для β-каротина (Ermakov et al., 1987). Суммарное содержание каротинов определяли методом бумажной хроматографии. Данные приведены в пересчете на сырое вещество. Все исследования проводили в 6-ти кратной повторности для гибрида и для ДН-линий.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программного обеспечения STATISTICA v. 12 (StatSoft Inc., США). Средние значения данных сравнивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Для определения того, являются ли различия между средними значениями сравниваемых параметров для образцов достоверными при 5% уровне значимости, использовали статистический показатель: наименьшая существенная разница – НСР<sub>05</sub>.

## Результаты и обсуждение

Оценка 15 ДН-линий из гибрида F<sub>1</sub> Torazirok (κ-330, Япония) выявила их полиморфизм как по морфологическим, так и по биохимическим признакам.

**Морфологическая изменчивость.** В ходе оценки гибрида и ДН-линий репы листовой (*Brassica rapa* L.) была выявлена выраженная внутри линейная однородность и межлинейная изменчивость по ключевым морфологическим и хозяйственно ценным признакам (табл. 1).

Продолжительность вегетационного периода у изученных линий варьировала от 41 до 52 дней, что укладывается в пределы скороспелости, характерной для листовых форм (Korniyukhin, Artemyeva, 2022). Наибольшей скороспелостью отличались линии ДН 2 и ДН 8 (41 день). Низкий коэффициент вариации (CV=6,7%) указывает на относительную стабильность этого признака в условиях проведенного опыта.

**Таблица 1. Изменчивость морфологических и хозяйственно ценных признаков ДН-линий репы листовой**

**Table 1. Variability of morphological and economically important traits in DH lines of leaf turnip**

Образец/ Accession	Период вегетации, дни/ Vegetative period, days	Высота розетки, см/ Rosette height, cm	Диаметр розетки, см/ Rosette diameter, cm	Длина пластинки, см/ Leaf length, cm	Ширина пластинки, см/ Leaf width, cm	Масса растения, кг/ Plant weight, kg
Torazirok F <sub>1</sub>	47	15,4±2,1	25,6±1,3	18,7±3,1	7,3±1,7	0,23±0,03
ДН 1	50	13,5±1,3	20,5±2,5	22,5±0,7	9,3±0,7	0,15±0,01
ДН 2	41	17,1±2,7	29,4±1,6	24,8±2,3	12,2±1,5	0,25±0,02
ДН 3	45	20,4±1,3	24,5±2,1	20,1±1,1	10,4±1,9	0,23±0,02
ДН 4	45	21,2±2,2	40,3±3,6	26,2±1,7	9,7±1,1	0,31±0,01
ДН 5	48	14,8±1,7	28,3±2,4	20,6±0,9	8,2±0,6	0,17±0,01
ДН 6	48	11,6±0,3	34,8±1,8	21,5±1,5	7,5±1,0	0,15±0,01
ДН 7	49	18,1±1,4	37,7±0,6	26,2±1,8	12,9±1,7	0,19±0,02
ДН 8	41	13,6±0,9	40,2±3,2	20,7±0,5	16,3±2,1	0,33±0,04
ДН 9	52	17,3±2,1	35,5±1,4	24,5±1,3	10,2±0,6	0,23±0,03
ДН 10	47	16,8±3,5	27,4±1,7	20,2±0,7	10,5±1,1	0,21±0,01
ДН 11	50	15,3±2,5	35,2±0,8	17,4±0,8	10,6±1,3	0,19±0,01
ДН 12	46	12,7±1,2	28,5±3,4	23,8±1,3	6,9±0,9	0,21±0,02
ДН 13	46	14,8±2,2	30,2±2,7	21,6±1,6	7,2±1,5	0,16±0,02
ДН 14	49	10,2±0,6	21,9±2,1	19,2±0,9	11,3±1,1	0,23±0,03
ДН 15	49	16,3±1,4	25,5±1,5	14,1±1,2	10,2±1,7	0,17±0,01
Среднее по линиям	47,1±3,2	15,6±3,1	30,7±6,3	21,6±3,3	10,2±2,4	0,21±0,05
CV, %	6,7	19,6	20,7	15,3	23,7	25,5
НСР <sub>05</sub>	2,8	2,5	5,8	2,3	1,4	0,04

**Примечание:** в таблице представлены средние значения ± стандартное отклонение (n=6). CV – коэффициент вариации (%); НСР<sub>05</sub> – наименьшая существенная разница при p=0,05

**Note:** The table presents mean±standard deviation (n=6) values. CV – coefficient of variation (%); LSD<sub>0,5</sub> – least significant difference at p=0.05

Морфометрические параметры розетки продемонстрировали значительно большую изменчивость. Высота розетки варьировала от 10,2 см (DH 14) до 21,2 см (DH 4) ( $CV=19,6\%$ ). Диаметр розетки показал еще более широкий диапазон – от 20,5 см (DH 1) до 40,3 см (DH 4) ( $CV=20,7\%$ ). Особенно примечательны линии DH 4, DH 7 и DH 8, у которых диаметр розетки превышал 40 см, что может коррелировать с общей биомассой и листовой поверхностью – важными характеристиками для листовых овощных культур. С другой стороны, компактные формы, такие как DH 1 (20,5 см) и DH 14 (21,9 см), могут представлять интерес для возделывания в условиях ограниченного пространства или механизированной уборки. Размеры листовой пластинки также существенно различались. Длина листа колебалась от 14,1 см (DH 15) до 26,2 см (DH 4 и DH 7) ( $CV=15,3\%$ ). Ширина листа показала наибольшую относительную изменчивость среди всех морфологических признаков – от 6,9 см (DH 12) до 16,3 см (DH 8) ( $CV=23,7\%$ ). Масса надземной части растения, используемая как интегральный показатель продуктивности, варьировала от 0,15 кг (DH 1 и DH 6) до 0,33 кг (DH 8). Наибольший коэффициент вариации из оцениваемых признаков ( $CV=25,5\%$ ) показывает высокую чувствительность этого признака к генетическим различиям

между линиями. Линии DH 4 (0,31 кг) и DH 8 (0,33 кг) продемонстрировали наивысшую продуктивность.

Сравнение исходного гибрида Torazirok  $F_1$  со средними значениями DH-линий показало, что по большинству признаков он занимает промежуточное положение. Так, отдельные DH-линии превосходят гибрид по таким параметрам, как диаметр розетки (DH 4, DH 8), масса растения (DH 4, DH 8) и ширина листа (DH 8).

Таким образом, полученный набор DH-линий представляет собой ценный генетический материал с широким диапазоном фенотипической изменчивости, пригодный как для фундаментальных исследований, так и для практических целей – создания новых сортов репы листовой с заданными агрономическими характеристиками.

DH-линии репы листовой также имели различия по качественным морфологическим признакам, таким как форма, окраска и опушение листовой пластинки, наличие или отсутствие черешка, форма розетки, что отражает генотипическое разнообразие популяции микроспор гибрида Torazirok  $F_1$  (рисунок).

**Биохимическая изменчивость.** Содержание фотосинтетических пигментов в листьях DH-линий также характеризовалось высокой степенью полиморфизма (табл. 2).



**Рисунок. Изменчивость листовой пластинки гибрида и DH-линий репы листовой**

**Figure. Leaf variability in hybrid leaf turnip and DH lines**

Большинство линий имели сумму хлорофиллов на уровне или ниже гибрида (135,0 мг/100 г). Особый интерес для селекции представляет содержание каротиноидов, и в частности  $\beta$ -каротина. Общее содержание каротиноидов варьировало от 15,9 (DH 15) до 38,6 мг/100 г (DH 13).  $\beta$ -каротин накапливался в количестве от 2,6 мг/100 г (DH 15) до 6,3 мг/100 г (DH 8). При этом несколько линий (DH 2, DH 5, DH 7, DH 8) достоверно превосходили исходный гибрид  $F_1$  (4,1 мг/100 г) по содержанию  $\beta$ -каротина. Наибольшее суммарное содержание каротина (11,8 мг/100 г) отмечено у линии DH 2. Коэффициент вариации для биохимических признаков был ещё более выраженным, достигая 37,9% для хлорофилла *b*.

Проведенное исследование показывает эффективность метода культуры изолированных микроспор для быстрого создания генетически разнообразного и гомозиготного материала репы листовой. Значительный полиморфизм, выявленный среди 15 полученных DH-линий по всем изученным признакам, является прямым следствием процессов рекомбинации при образовании микроспор у гетерозиготного гибрида  $F_1$  Torazirok. Это подтверждает, что DH-технологии являются эффективным методом, позволяющим расщепить и закрепить сложные генетические комплексы всего за одно поколение.

Таблица 2. Изменчивость пигментного состава ДН-линий репы листовой, мг/100 г

Table 2. Variability of pigment composition in DH lines of leaf turnip, mg/100 g

Образец/ Accession	Хлоро- филл a/ Chloro- phyll a	Хлоро-филл b/ Chloro- phyll b	Суммарный Chlorophyll/ Total Chlorophyll	Каротиноиды/ Carotenoids	Каротин/ Carotene	β-каротин/ β-carotene
Torazirok F <sub>1</sub>	98,2±7,3	36,7±2,7	135,0±15,2	36,1±2,8	5,0±2,1	4,1±1,1
DH 1	84,9±5,4	31,1±8,9	116,0±14,3	18,2±4,9	7,6±3,3	5,0±0,6
DH 2	102,9±12,3	61,7±0,9	164,6±13,1	30,2±1,5	11,8±0,9	6,1±1,5
DH 3	88,3±15,1	26,5±3,7	114,8±18,8	19,7±5,5	5,8±0,2	4,9±0,8
DH 4	88,9±0,4	30,4±5,0	119,3±4,6	21,1±1,4	6,6±1,0	5,0±0,3
DH 5	92,8±1,6	41,1±2,3	133,9±3,9	22,9±0,2	9,7±1,8	5,6±0,2
DH 6	95,5±2,8	28,4±1,8	123,9±4,6	23,7±1,9	8,0±0,9	5,1±0,1
DH 7	91,1±2,0	37,1±8,1	128,2±10,2	21,3±3,9	8,2±0,2	5,4±0,4
DH 8	102,4±17,1	52,1±0,7	154,4±17,8	26,8±3,5	8,9±0,3	6,3±0,8
DH 9	84,8±13,5	39,6±14,8	124,4±1,4	22,6±1,9	6,6±0,2	5,1±0,2
DH 10	68,9±12,2	52,9±0,1	121,9±12,3	26,2±0,4	9,4±0,1	4,7±0,7
DH 11	80,5±1,3	26,6±2,1	107,1±2,3	34,5±0,5	6,8±0,3	4,8±0,8
DH 12	78,9±0,4	26,7±0,8	105,6±2,0	33,7±1,0	5,7±0,7	4,7±0,5
DH 13	89,9±1,6	28,6±0,5	118,5±1,3	38,6±0,7	7,4±0,2	5,4±0,6
DH 14	86,1±0,9	26,9±1,1	113,0±1,8	37,9±0,2	6,4±0,5	5,4±0,3
DH 15	37,7±1,5	9,9±0,3	47,6±0,3	15,9±1,0	3,7±0,3	2,6±0,5
Среднее для всех линий	84,9±15,7	34,6±13,1	119,5±25,6	26,2±7,2	7,5±2,0	5,1±0,8
CV, %	18,5	37,9	21,4	27,4	26,1	16,4
НСР <sub>05</sub>	10,4	9,7	16,3	3,1	1,6	0,6

**Примечание:** В таблице представлены средние значения ± стандартное отклонение (n=6). CV – коэффициент вариации (%); НСР<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность при p=0,05

**Note:** The table presents mean ± standard deviation (n=6) values. CV – coefficient of variation (%); LSD<sub>0,5</sub> – least significant difference at p=0.05

Выделение линий с широким разнообразием признаков открывает возможности для направленной селекции. Например, линии DH 2 и DH 8, у которых период вегетации составляет 41 день, представляют интерес как источники скороспелости. Линии DH 4 и DH 8, сочетающие крупный диаметр розетки и высокую вегетативную массу растения (0,31 и 0,33 кг соответственно), могут быть использованы для повышения урожайности. Полученные данные позволяют вести отбор не только на количественные показатели, но и на качество розетки (компактность, форма), что важно для механизированной уборки и товарного вида.

Наиболее значимым результатом является выявление линий, превосходящих исходный гибрид по содержанию β-каротина – важного антиоксиданта и провитамина А. Линии DH 2, DH 8 и DH 5 показали содержание β-каротина на уровне 5,6–6,3 мг/100 г, что на 36–54% выше, чем у гибрида Torazirok F<sub>1</sub>. Это доказывает, что применение ДН-технологий позволяет не только зафиксировать ценные биохимические признаки, но и создаёт предпосылки для их целенаправленного усиления в ходе поиска их удачных комбинаций. Особого внимания заслуживает линия DH 2, которая сочетает скороспелость (41 день), высокую массу растения, максимальное среди линий содержание хлорофиллов и одно из самых высоких

содержаний β-каротина и каротина. Это делает ее комплексным источником хозяйственно ценных признаков.

Низкое содержание фотосинтетических пигментов у линии DH 15 может быть обусловлено комплексом генетических факторов, отвечающих как за биосинтез пигментов, так и за их деградацию (Li et al., 2015; Zhou et al., 2022; Shi et al., 2023). Исследования на капустных культурах, относящихся к семейству Brassicaceae Burnett, показывают, что накопление каротиноидов жёстко контролируется ключевыми ферментами их метаболизма. Например, в цветках и корнях репы *B. rapa* изменение цвета связано со специфической экспрессией генов, таких как *CCD8* и *NCED* в цветках, или *ZEP* в корнях и стеблях, которые регулируют деградацию каротиноидов (Liu et al., 2024). Мутации в генах биосинтеза, таких как *PSY* (продукт гена – фитоенсинтаза, phytoene synthase) или *CRTISO* (кодирует каротиноид-изомеразу), могут приводить к снижению уровня их предшественников, как это описано для мутанта *Brassica rapa* «YB1» с изменённой окраской (Liu et al., 2024). У капустных культур оранжевая пигментация внутренних листьев контролируется геном *BrCRTISO*, а инсерции/делеции в его промоторной области ассоциированы с изменением содержания пигментов (Shi et al., 2023). Параллельно, нарушения пути деградации хлорофилла могут приводить к его преж-

дверемному распаду. Ключевую роль в этом процессе играют ферменты пути феофорбида \*а\* оксигеназы (PaO) и белки семейства STAY-GREEN (SGR), которые инициируют разрушение хлорофилл-белковых комплексов (Smolikova et al., 2017). На уровень пигментов могут влиять мутации в регуляторных генах, например, в генах транскрипционных факторов семейства R2R3-MYB, которые контролируют не только антоциановый (Fateev et al., 2023), но, как показывают данные, полученные при изучении других семейств, потенциально и каротиноидный путь. Фенотип линии DH 15 может быть следствием как гомозиготизации рецессивных аллелей структурных генов (*PSY*, *CRTISO*, *LCYE*, *SGR*), так и нарушения работы регуляторных элементов или повышенной активности генов деградации (*CCD4*, *NCED*). Изучение линии репы листовой DH 15 представляет значительную перспективу для генетических исследований.

### Заключение

Таким образом, в результате применения технологии удвоенных гаплоидов из одного гибридного генотипа получен широкий спектр стабильных линий, каждая из которых представляет уникальную комбинацию признаков. Выделены перспективные линии-доноры по скороспелости (DH 2, DH 8), продуктивности (DH 4, DH 8) и повышенному содержанию β-каротина (DH 2, DH 8). Полученный материал является готовым селекционным ресурсом для создания новых сортов и гибридов листовой репы, а также ценным инструментом для молекулярно-генетического анализа наследования количественных признаков. Высокие коэффициенты вариации подтверждают, что метод культуры микроспор эффективно раскрывает потенциал генетического разнообразия и способен повысить эффективность селекционных программ.

### References/Литература

Aleksandrova A.A., Monakhos S.G. Production of doubled haploids of vegetable crops: history and modernity. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2024;3(16):40-48. [in Russian] (Александрова А.А., Моныхос С.Г. Производство удвоенных гаплоидов овощных культур: история и современность. *Естественные науки*. 2024;3(16):40-48). DOI: 10.54398/2500-2805.2024.16.3.004

Artemyeva A.M. New incoming accessions of *Brassica rapa* L. into the VIR plant collection. *Vegetable crops of Russia*. 2017;(2):14-19. [in Russian] (Артемьева А.М. Новые поступления капустных культур вида *Brassica rapa* L. в коллекцию ВИР. *Овощи России*. 2017;(2):14-19). DOI: 10.18619/2072-9146-2017-2-14-19

Artemyeva A.M. (comp.). Catalogue of the VIR World Collection. Issue 740. Donors and sources for breeding *Brassica rapa* L. leafy vegetable crops: (Chinese cabbage, Pak choi, Mizuna, leaf turnip) (Donory i istochniki dlya selektsii listovyykh ovoshchnyykh kul'tur vida *Brassica rapa* L.: (Pekinskaya, kitayskaya i yaponskaya kapusty, listovaya repa)). St. Petersburg: VIR; 2004. [in Russian] (Каталог мировой коллекции ВИР. Выпуск 740. Доноры и источники для селекции листовых овощных культур вида *Brassica rapa* L.: (Пекинская, китайская и японская капусты, листовая репа) / сост. А.М. Артемьева. Санкт-Петербург: ВИР; 2004).

Bochkaryova E.B., Gorlova L.A., Serdyuk V.V., Strelnikov E.A.

Breeding value of dihaploid lines of spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Oilseed Crops*. 2019;(4):18-22. [in Russian] (Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Селекционная ценность дигаплоидных линий рапса ярового (*Brassica napus* L.). *Масличные культуры*. 2019;(4):18-22). DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-18-22

Domblides E.A., Shmykova N.A., Shumilina D.V., Zayachkovskaya T.V., Mineikina A.I., Kozar E.V., Akhramenko V.A., Shevchenko L.L., Kan L.Yu., Bondareva L.L., Domblides A.S. Technology for obtaining doubled haploids in the culture of microspores for the cabbage family: (guidelines) (Tekhnologiya polucheniya udvoennykh gapoloidov v kul'ture mikrospor semeystva kapustnyie: (metodicheskie rekomendatsii)). Moscow: VNISSOK; 2016. [in Russian] (Домблидес Е.А., Шмыкова Н.А., Шумилина Д.В., Заячковская Т.В., Минейкина А.И., Козарь Е.В., Ахраменко В.А., Шевченко Л.Л., Кан Л.Ю., Бондарева Л.Л., Домблидес А.С. Технология получения удвоенных гаплоидов в культуре микроспор семейства капустные: (методические рекомендации). Москва: ВНИИССОК; 2016).

Boos G.V., Dzhokhadze T.I., Artemyeva A.M., Krivchenko V.I., Simon A.M., Timoshenko Z.V., Petrovskaya N.N., Vlasova E.A., Sinelnikova V.N., Barashkova E.A., Ivakin A.P., Ermakov A.I., Voskresenskaya V.V. Study and maintenance of the world's cabbage collection: guidelines (Izucheniye i podderzhanie mirovoy kolleksii kapusty: metodicheskiye ukazaniya / sost.: G.V. Boos, T.I. Dzhokhadze, A.M. Artemyeva, V.I. Krivchenko, A.M. Simon, Z.V. Timoshenko, N.N. Petrovskaya, E.A. Vlasova, V.N. Sinelnikova, E.A. Barashkova, A.P. Ivakin, A.I. Ermakov, V.V. Voskresenskaya. Leningrad: VIR; 1988. [in Russian] (Изучение и поддержание мировой коллекции капусты: методические указания / сост.: Г.В. Боос, Т.И. Джохадзе, А.М. Артемьева, В.И. Кривченко, А.М. Симон, З.В. Тимошенко, Н.Н. Петровская, Э.А. Власова, В.Н. Синельникова, Э.А. Барашкова, А.П. Ивакин, А.И. Ермаков, В.В. Воскресенская. Ленинград: ВИР; 1988).

Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskiy Yu.A., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. Methods of biochemical research (Metody biokhimiicheskikh issledovaniy). Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.А., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимических исследований. Ленинград: Агропромиздат; 1987).

Fateev D.A., Berensen F.A., Artemyeva A.M., Babak O.G., Yatevich K.K., Drozd E.V., Kilchevsky A.V. Study of *Myb114* gene polymorphism in the cole crops (*Brassica oleracea* L.) in connection with anthocyanin biosynthesis regulation based on comparison with MYB factors of vegetable nightshades (Solanaceae). *Russian Journal of Genetics*. 2023;59(1):30-39. DOI: 10.1134/S1022795423010040

Fomicheva M., Kozar E., Domblides E. Carrot (*Daucus carota* L.) Haploid embryo genome doubling with colchicine and trifluralin. *Horticulturae*. 2025;11(5):505. DOI: 10.3390/horticulturae11050505

Korniyukhin D.L., Artemyeva A.M. Breeding value of leafy and root turnip samples from the VIR collection. *Vegetable Crops of Russia*. 2022;(1):12-18. [in Russian] (Корнюхин Д.Л., Артемьева А.М. Селекционная ценность образцов листовой и корнеплодной репы из мировой коллекции ВИР. *Овощи России*. 2022;(1):12-18). DOI: 10.18619/2072-9146-2022-1-12-18

Kozar E.V., Korotseva K.S., Romanova O.V., Chichvarina O.A., Kan L.Yu., Akhramenko V.A., Domblides E.A. Production of doubled haploids in *Brassica purpuraria*. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):10-18. [in Russian] (Козарь Е.В., Коротцева К.С., Романова О.В., Чичварина О.А., Кан Л.Ю., Ахраменко В.А., Домблидес Е.А. Получение удвоенных гаплоидов *Brassica purpuraria*. *Овощи России*. 2019;(6):10-18). DOI: 10.18619/2072-9146-2019-6-10-18

Kozar E.V., Kozar E.G., Domblides E.A. Effect of the method of microspore isolation on the efficiency of isolated microspore culture *in vitro* for Brassicaceae family. *Horticulturae*. 2022;8(10):864. DOI: 10.3390/horticulturae8100864

Kozar E.V., Domblides E.A. Protocol for obtaining doubled haploids in isolated microspore culture *in vitro* for poorly responsive genotypes of brassicaceae family. *Biology Methods and Protocols*. 2024;9(1):bpae091. DOI: 10.1093/biomethods/bpae091

Kozar E., Chepovoy I., Fomicheva M., Domblides E. Selection of

- rapeseed for resistance to imidazolinone group of herbicides on solid media under *in vitro* conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2025;163(2):81. DOI: 10.1007/s11240-025-03284-z
- Kubo N., Ueoka H., Satoh S. Genetic relationships of heirloom turnip (*Brassica rapa*) cultivars in Shiga Prefecture and other regions of Japan. *The Horticulture Journal*. 2019;88(4):471-480. DOI: 10.2503/hortj.UTD-071
- Li P., Zhang S., Zhang S., Li F., Zhang H., Cheng F., Wu J., Wang X., Sun R. Carotenoid biosynthetic genes in *Brassica rapa*: comparative genomic analysis, phylogenetic analysis, and expression profiling. *BMC Genomics*. 2015;16(1):492. DOI: 10.1186/s12864-015-1655-5
- Liu G., Luo L., Yao L., Wang C., Sun X., Du C. Examining carotenoid metabolism regulation and its role in flower color variation in *Brassica rapa* L. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(20):11164. DOI: 10.3390/ijms252011164
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Nikitin M.A. Use of doubled haploid technology in modern selection of cabbage crops. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2024;4(17):32-37. [in Russian] (Никитин М.А. Использование технологии удвоенных гаплоидов в современной селекции капустных культур. *Естественные науки*. 2024;4(17):32-37). DOI: 10.54398/2500-2805.2024.17.4.005
- Pivovarov V.F., Shmykova N.A., Bondareva L.L., Zablotskaya Ye.A. Polymorphism of doubled haploid lines of broccoli cabbage obtained in microspore *in vitro* culture (Polimorfizm udvoennykh gaploidnykh liniy kapusty brokkoli, poluchennykh v kulture mikrospor *in vitro*). *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2015;(5):33-35. [in Russian] (Пивоваров В.Ф., Шмыкова Н.А., Бондарева Л.Л., Заблоцкая Е.А. Полиморфизм удвоенных гаплоидных линий капусты брокколи, полученных в культуре микроспор *in vitro*. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2015;(5):33-35).
- Shi L., Chang L., Yu Y., Zhang D., Zhao X., Wang W., Li P., Xin X., Zhang F., Yu S., Su T., Dong Y., Shi F. Recent advancements and biotechnological implications of carotenoid metabolism of *Brassica*. *Plants (Basel)*. 2023;12(5):1117. DOI: 10.3390/plants12051117
- Shumilina D.V., Kozar E.V., Chichvarina O.A., Korotseva K.S., Domblides E.A. *Brassica rapa* L. ssp. *chinensis* isolated microspore culture protocol. In: J.M. Segui-Simarro (ed.). *Doubled Haploid Technology. Vol. 2. Methods in Molecular Biology (MIMB, Vol. 2288)*. New York, NY: Humana Press; 2021. p.145-162. DOI: 10.1007/978-1-0716-1335-1\_9
- Smolikova G., Dolgikh E., Vikhnina M., Frolov A., Medvedev S. Genetic and Hormonal Regulation of Chlorophyll Degradation during Maturation of Seeds with Green Embryos. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(9):1993. DOI: 10.3390/ijms18091993
- Stepanov V.A., Sirota S.M., Antipova O.V. Leafy turnip is a new crop for salad production lines. *Vegetable crops of Russia*. 2015;(3-4):74-77. [in Russian] (Степанов В.А., Сирота С.М., Антипова О.В. Новая культура для салатных линий – репа листовая. *Овощи России*. 2015;(3-4):74-77). DOI: 10.18619/2072-9146-2015-3-4-74-77
- Zhang N., Zhao J., Lens F., de Visser J., Menamo T., Fang W., Xiao D., Bucher J., Basnet R.K., Lin K., Cheng F., Wang X., Bonnema G. Morphology, carbohydrate composition and vernalization response in a genetically diverse collection of Asian and European turnips (*Brassica rapa* subsp. *rapa*). *PLoS one*. 2014;9(12):e114241. DOI: 10.1371/journal.pone.0114241
- Zhou F., Liu Y., Feng X., Zhang Y., Zhu P. Transcriptome analysis of green and white leaf ornamental kale reveals coloration-related genes and pathways. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:769121. DOI: 10.3389/fpls.2022.769121

### Информация об авторах

- Анастасия Борисовна Курина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, и.о. заведующего, лаборатория селекции и клеточных технологий, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, nastya\_nll@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3197-4751>
- Анастасия Андреевна Асланова**, младший научный сотрудник, лаборатория селекции и клеточных технологий, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, a.aslanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3429-0060>
- Елена Викторовна Козарь**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, лаборатория репродуктивной биотехнологии в селекции сельскохозяйственных растений, Федеральный научный центр овощеводства (ФНЦО), 143072 Россия, Московская область, Одинцовский район, ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14, koz.leno4ek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5447-5341>
- Елена Алексеевна Домблидес**, кандидат с.-х. наук, зав. лабораторией, лаборатория репродуктивной биотехнологии в селекции сельскохозяйственных растений, Федеральный научный центр овощеводства (ФНЦО), 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14, edomblides@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2695-190X>

### Information about the authors

- Anastasia B. Kurina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Acting Head, Laboratory of Breeding and Cell Technologies, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, nastya\_nll@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3197-4751>
- Anastasiya A. Aslanova**, Junior Researcher, Laboratory of Breeding and Cell Technologies, N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, a.aslanova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0006-3429-0060>
- Elena V. Kozar**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Laboratory of Reproductive Biotechnology in Crop Breeding, Federal Scientific Vegetable Center (FSVC), 14, Selektionnaya Street, VNISSOK, Odintsovo District, Moscow Region, 143072 Russia, koz.leno4ek@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5447-5341>
- Elena A. Domblides**, Cand. Sci. (Agriculture), Head, Laboratory of Reproductive Biotechnology in Crop Breeding, Federal Scientific Vegetable Center (FSVC), 14, Selektionnaya Street, VNISSOK, Odintsovo District, Moscow Region, 143072 Russia, edomblides@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2695-190X>

**Вклад авторов:** Курина А.Б.: концептуализация, написание рукописи и ее редактирование, визуализация, руководство исследованием. Асланова А.А.: проведение исследования, анализ данных. Козарь Е.В.: методология, проведение исследования, верификация данных, формальный анализ, редактирование рукописи. Домблидес Е.А.: методология, администрирование данных, редактирование рукописи, руководство исследованием.

---

**Contribution of the authors:** Kurina A.B.: conceptualization, manuscript writing and editing, visualization, supervision. Aslanova A.A.: investigation, data analysis. Kozar E.V.: methodology, investigation, data verification, formal analysis, manuscript editing. Domblides E.A.: methodology, data administration, manuscript editing, supervision.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 29.11.2025; одобрена после рецензирования 19.12.2025; принята к публикации 23.12.2025.

The article was submitted on 29.11.2025; approved after reviewing on 19.12.2025; accepted for publication on 23.12.2025.

Обзорная статья  
УДК 633.863.2:577.13  
DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-02



## Особенности синтеза картамина в соцветиях сафлора красильного *Carthamus tinctorius* L.

В. Д. Бемова

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

**Автор, ответственный за переписку:** Бемова Виктория Дмитриевна, viktoria.bemova@yandex.ru

Сафлор *Carthamus tinctorius* L., относящийся к семейству сложноцветных (Asteraceae), – важная масличная культура, его семена богаты жирными кислотами, в частности олеиновой и линолевой. Сафлор используется также в декоративных целях; на протяжении столетий его активно выращивали во многих странах мира. В последние годы особый интерес вызывают вторичные метаболиты, получаемые из соцветий сафлора, в частности флавоноиды. Флавоноиды сафлора можно разделить на две группы: специальные, представленные хинохалконами, и общие. Многие из этих веществ существенно влияют на окраску соцветий сафлора, которая изменяется в зависимости от стадии цветения (от желтой к оранжевой и красной при увядании). Флавоноиды сафлора активно используются в медицине и в качестве натуральных красителей при изготовлении тканей, косметики, а также в пищевой промышленности. Процесс биосинтеза пигментов в соцветиях до сих пор изучается, остаются неисследованными многие этапы, неизвестны механические аспекты их образования. Особый интерес представляет синтез красного пигмента – картамина, уникального димерного хинохалкона, добываемого только из оранжевых и красных соцветий сафлора. При правильном очищении этот пигмент приобретает металлический золотистый блеск. В исследовании 2021 года из соцветий сафлора были выделены белки картамин-синтазы (CarS), отвечающие за заключительный этап преобразования прекартамина в картамин. Гены CarS (*CtPOD1*, *CtPOD2* и *CtPOD3*) экспрессируются в тканях сафлора независимо от окраски цветка. Предположительно, прекартамин накапливается в структурах венчика, которые физически отделены от клеточного компартмента, содержащего CarS. В ходе старения клетки соцветия сафлора разрушаются, что позволяет CarS взаимодействовать с прекартамином и образовывать картамин, который адсорбируется клеточной стенкой венчика и тем самым достигается стабилизация красной пигментации. В этом обзоре собраны данные об особенностях синтеза картамина, особенно о последнем этапе – преобразовании прекартамина в картамин и накопление его в соцветиях.

**Ключевые слова:** картамин-синтаза, пигменты, флавоноиды, хинохалконы, CarS

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2025-0008

**Для цитирования:** Бемова В.Д. Особенности синтеза картамина в соцветиях сафлора красильного (*Carthamus tinctorius* L.) *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):127-135. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-02

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.

© Бемова В.Д., 2025

---

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o2

## Features of carthamin synthesis in inflorescences of safflower *Carthamus tinctorius* L.

Viktoriya D. Bemova

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

**Corresponding author:** Viktoriya D. Bemova, viktorija.bemova@yandex.ru

Safflower *Carthamus tinctorius* L., a member of the Asteraceae family, is an important oilseed crop; its seeds are rich in fatty acids, particularly oleic and linoleic. Safflower is also used for ornamental purposes and has been extensively cultivated in many countries for centuries. In recent years, secondary metabolites obtained from safflower inflorescences, particularly flavonoids, have attracted particular interest. Safflower flavonoids can be divided into two groups: specialized flavonoids, represented by quinochalcons, and general ones. Many of these substances significantly influence the color of safflower inflorescences, which changes depending on the flowering stage (from yellow to orange and red at fading). Safflower flavonoids are widely used in medicine and as natural dyes in the manufacture of fabrics, cosmetics, and in the food industry. The process of pigment biosynthesis in inflorescences is still being studied; many stages remain unexplored, and the mechanical aspects of their formation are unknown. Of particular interest is the synthesis of the red pigment, carthamin, a unique dimeric quinochalcon extracted only from orange and red safflower inflorescences. When properly purified, this pigment acquires a metallic golden sheen. A 2021 study used safflower inflorescences for extracting carthamin synthase (CarS) proteins responsible for the final step in converting precarthamin to carthamin. The CarS genes (*CtPOD1*, *CtPOD2*, and *CtPOD3*) are expressed in safflower tissues regardless of flower color. Presumably, precarthamin accumulates in corolla cellular structures that are physically separated from the cellular compartment containing CarS. During floral senescence, cells degrade, allowing CarS to interact with precarthamin and form carthamin, which is adsorbed by the corolla cell wall, thereby stabilizing the red pigmentation. This review summarizes data on the specifics of carthamin synthesis, particularly the final step – the conversion of precarthamin to carthamin and its accumulation in inflorescences.

**Keywords:** carthamin synthase, pigments, flavonoids, quinochalcons, CarS

---

**Acknowledgements:** The research was performed within the framework of the State Assignment according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2025-0008

**For citation:** Bemova V.D. Features of carthamin synthesis in inflorescences of safflower *Carthamus tinctorius* L. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):127-135. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o2

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/her employers.

---

© Bemova V.D., 2025

## Введение

Сафлор *Carthamus tinctorius* L., представитель семейства сложноцветных (Asteraceae), относится к числу древнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых человеком. Это растение традиционно выращивалось на протяжении столетий в Средиземноморье, на Ближнем Востоке, в Индии и Китае, и впоследствии распространилось по всему миру (Watanabe, 1977). Семена сафлора богаты жирными кислотами, включая олеиновую и линолевую кислоты, и поэтому растение выращивается как масличная культура (Knowles, 1965).

Сафлор применяется в медицине и используется при составлении букетов. Это теплолюбивая, засухоустойчивая культура короткого дня, хорошо приспособленная к континентальному климату. Соцветия сафлора используются для получения уникального пигмента – картамина, который применяется для окраски тканей, изготовления косметики и в качестве пищевого красителя. В Египте были раскопаны мумии, которые были завернуты в ткани, окрашенные красным красителем (Tamburini et al., 2019). Таким образом, картамин является экономически важным красителем растительного происхождения.

Получение картамина путем синтеза в промышленных масштабах на данный момент неосуществимо, поэтому целесообразно изучение механизма биосинтеза пигментов в соцветиях сафлора для получения высококартаминовых растений путем селекции. Кроме того, селекционная работа может быть направлена на улучшение декоративных качеств сафлора, на модификацию таких признаков, как компактность куста, длительность и обильность цветения, уникальная форма и окраска цветка, листьев, стеблей, устойчивость окраски лепестков цветка к выгоранию на солнце (Rakhmangulov, Tikhonova, 2021; Rakhmangulov, 2022).

Окраска соцветий обусловлена взаимодействием нескольких генов, не все из которых на данный момент идентифицированы. Гены, отвечающие за синтез картамина, долгое время были неизвестны. В 2021 году группой японских ученых были идентифицированы гены картамин-синтазы, отвечающие за ферментативный процесс образования картамина из прекартамина (Waki et al., 2021).

## Ботаническое описание и особенности цветения

Сафлор *Carthamus tinctorius* L. – представитель семейства Сложноцветных (Asteraceae) с числом хромосом  $2n=24$ . Стебель прямостоячий, ветвящийся, голый, высотой до 90 см. Угол ветвей к стеблю варьирует от  $30^\circ$  до  $70^\circ$ , а степень ветвления контролируется генетически. Листья сидячие, ланцетные, ланцетоовальные или эллиптические, по краям с небольшими зубчиками, обычно оканчивающимися колючками, но встречаются и неколючие разновидности. Корень сафлора стержневой, сильно разветвленный, проникает на глубину до 2 м (Vakhrusheva, Ivanenko, 1985).

Соцветие – корзинка диаметром 1,5-3,5 см. Цветки трубчатые с пятираздельным венчиком белой, желтой или красной окраски (рис. 1). Число соцветий на стеблях может достигать 50-60. Цветение начинается с соцветий на первичных ветвях, затем на вторичных и так далее. Оттенки оранжевого, желтого и красного цветов наиболее распространены в начале цветения, но окраска соцветия при его увядании становится более темной. Белые цветки встречаются редко. При созревании образуются белые семена, с толстыми плодовыми оболочками. Плод – семянка, с твердой, трудно раскалывающейся оболочкой, которая составляет 40-50% массы семян. Семена при созревании не осыпаются.



Рис. 1. Типы окраски соцветий сафлора красильного

А) Красная В) Желтая С) Белая

Fig. 1. Color types of safflower inflorescences

A) Red B) Yellow C) White



рующие окраску цветков у сафлора, вступают в разнообразные взаимодействия. По отдельности ген *O* дает желтую окраску, ген *R* – красную, *C* – желтую, ген *Y* не проявляется. Гены *O* и *R* взаимодействуют комплементарно с образованием оранжевой окраски. Взаимодействие гена *C* с генами *O* и *R* происходит по типу доминантного эпистаза, а гена *Y* и генов *C*, *O* и *R* – по типу рецессивного эпистаза. Рecessивная гомозигота по гену *uu* дает белую окраску цветка. Однако, по мнению авторов работы (Pahlavani, 2004), рецессивный аллель гена *Y* не всегда приводит к подавлению окраски.

Флавоноиды сафлора можно разделить на две группы: специальные, представленные хинохалконами (24 соединения), и общие (43 соединения), включающие флавоноиды, флавонолы и дигидрофлавоноиды. Специальная группа обладает уникальной структурой и фармакологической активностью, используется при лечении сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний. Хинохалконовые соединения, такие как гидрокси-сафлоровый жёлтый А (HSYA), сафлоровый жёлтый А и картамин, присутствуют только в сафлоре и относятся преимущественно к С-гликозидам. Распространенные группы флавоноидов представлены кемпферолом, гиперозидом и нарингенином, а продукты гликозилирования флавоноидов относятся к О-гликозидам (Yue et al., 2013).

Был изучен ген флаванон-3-гидроксилазы, содержащий открытую рамку считывания длиной 1086 пн. При стимуляции метилжасмонатом экспрессия была выше, что связано с накоплением хинохалконов и флавонолов (Tu et al., 2016). Анализ ДНК из цветков сафлора позволил идентифицировать ген флавонолсинтазы с открытой рамкой считывания длиной 1011 пн (Yang et al., 2015). Был клонирован полноразмерный ген антоцианидинсинтазы длиной 1226 пн. Этот ген кодирует три функциональных домена белка ANS, содержащих сайты связывания 2-оксоглутарата и ионов железа (Liu et al., 2015). Исследование показало, что экспрессия генов *CHS*, *CHI* и *ANS* в разные периоды цветения влияет на синтез и содержание желтого пигмента сафлора. Помимо этого, фермент, называемый картамин-синтазой (*CarS*), также определяет окраску цветков сафлора, поскольку *CarS* может катализировать образование и разложение картамина (Liu et al., 2015).

Гликозилтрансферазы могут переносить гликозильные фрагменты с активированных доноров сахара на определенные акцепторы. Был проведен скрининг сорока пяти генов UDP-гликозилтрансферазы (*UGT*) сафлора. Для характеристики функций *UGT* в сафлоре гены *CtUGT3*, *CtUGT16* и *CtUGT25* были клонированы. Изучение субклеточной локализации экспрессии трёх генов показало, что она может происходить как в цитоплазме, так и в хлоропластах клеток. Экспрессия всех трёх *UGT* была подавлена в двух линиях, чувствительных к индукции метилжасмонатом. Была продемонстрирована положительная связь между характером экспрессии генов и накоплением метаболитов, а именно *CtUGT3*

и *CtUGT25* и кемпферол-3-О-β-D-гликозида, *tUGT16* и кверцетин-3-О-β-D-гликозида в желтом сафлоре, а также *CtUGT3* и *CtUGT25* и кверцетин-3-О-β-D-гликозида в белом сафлоре (Guo et al., 2016).

У сафлора были клонированы два гена *CHI*. Один имел полную длину 696 пн, а другой – 1161 пн. Дальнейшие исследования показали, что накопление HSYA и экспрессия гена *CHI* длиной 696 пн имели схожую тенденцию во время цветения (Ren et al., 2019). Временная экспрессия в клетках мезофилла табака показала, что ген *CHI* длиной 1161 пн может влиять на накопление флавоноидов на разных стадиях цветения сафлора (Liu et al., 2019).

Синтез флавоноидов является важным компонентом метаболизма фенилпропаноидов. У *Arabidopsis* халконсинтаза, один из ключевых ферментов биосинтеза флавоноидов, катализирует превращение п-кумароил-КоА в тетрагидрокси-халкон. В свою очередь, тетрагидрокси-халкон преобразуется в нарингенин с помощью халконизомеразы. Нарингенин может генерировать генистеин под действием изофлавоносинтазы. Флавоносинтаза катализирует преобразование генистеина в апигенин, а также может образовывать дигидрофлавонол под действием флаванон-3-гидроксилазы, флавоноид-3'-гидроксилазы и флавоноид-3'5'-гидроксилазы. Дигидрофлавонол образует кверцетин или лейкоантоцианидины посредством катализа флавонолсинтазой или дигидрофлавонол-4-редуктазой (Wen et al., 2020; Davies et al., 2020).

Многие гены синтеза флавоноидов были успешно клонированы для анализа характера их экспрессии и изучения функций. У сафлора дифференциальная экспрессия гена халкон-синтазы может влиять на тип и содержание флавоноидов в цветках, а также на окраску этих цветков (Wang et al., 2021).

Процесс цветения и смены окраски соцветий сафлора довольно сложен. При смене окраски с желтой на красную обнаружено 212 метаболитов флавоноидов и 4820 дифференциально экспрессирующихся генов (Ren et al., 2022). Исследования показали, что содержание гидроксисафлорового желтого А и картамина существенно меняется в зависимости от стадии развития соцветия: количество желтых пигментов постепенно снижается к концу цветения, а картамин с 0,28 мкг/мг возрастает до 1,60 мкг/мг (Pu et al., 2021). Также были обнаружены антоцианы, предположительно влияющие на окраску соцветий. Содержание четырех антоцианов в цветках изменялось по-разному, из них два антоциана (О-гексозид пеонидина и 3,5-О-диглюкозид цианидина) накапливались во время перехода окраски от желтой к красной (Ren et al., 2022).

## Картамин

Картамин, димерный хинохалкон (рис. 3), – флавоноид, умеренно растворимый в воде, получают из оранжевых и красных соцветий сафлора. Пигмент очень неста-

билен и разлагается под воздействием щелочей и кислот, а также света. Предположительно синтез таких вторичных метаболитов, как картамин, может быть важен для выживания растения в условиях стресса или для защиты от микроорганизмов (Singer et al., 2003). Картамин – натуральный красный краситель, который используется во всем мире уже более 4500 лет для окраски текстиля, в косметике и в качестве пищевого красителя. Кроме

того, в определенных условиях, картамин может давать золотисто-зеленый металлический блеск, происхождение и природа которого до сих пор не выяснены, но он активно используется в декоративных целях. В Японии красный пигмент на основе картамина называли «бени» (что означает «красный») и на протяжении более 1400 лет использовали преимущественно для окрашивания тканей, например кимоно (Kosoto, 2007).

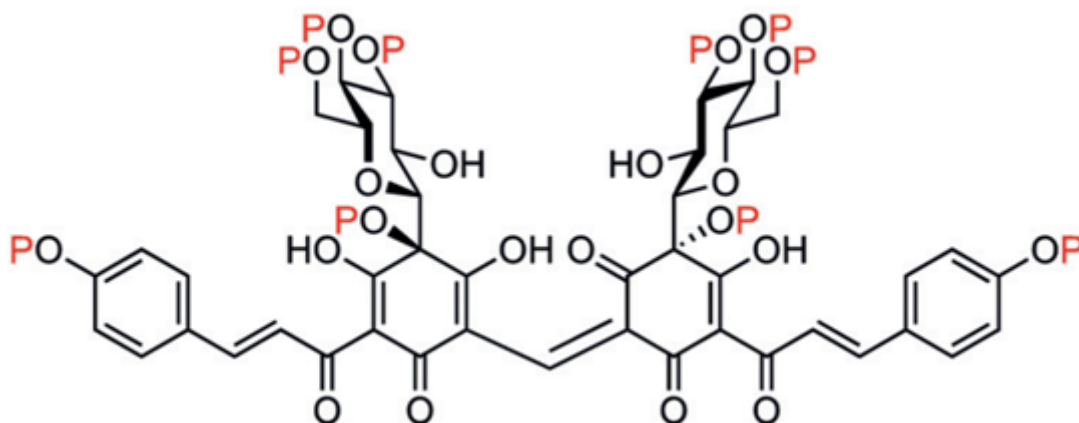


Рис. 3. Структура картамина

Fig. 3. Structure of carthamin

Структура пигмента вызвала интерес с 1910 года (Kametaka, Perkin, 1910). Seshadri в 1960 году предложил мономерную структуру О-гликозида (Seshadri, Thakur, 1960), которая затем была опровергнута. В 1980 году две независимые группы предположили его структуру, в которой две единицы С-гликозилхинохалкона соединены одним углеродным центром, образуя сопряженную систему с характерной C2-симметричной структурой. В 1996 году Sato с коллегами (Sato et al., 1996) сделали предположения, касающиеся структуры соединения. Молекулярная структура была построена путем объединения двух эквивалентов литированных мономеров, полученных *in situ*, и триизопропилортоформиата. В дальнейшем полный синтез подтвердил структуру, предложенную в 1996 году (Azami et al., 2019).

Путь синтеза картамина в растениях сафлора долгое время оставался неясным. Ранее предполагалось, что картамин образуется из прекартамина, водорастворимого хинохалкона, посредством одного ферментативного процесса, катализируемого полифенолоксидазой или пероксидазой (Shimokoriyama, Hattori, 1955). Saito с соавторами (Saito et al., 1998) наблюдали, как окисляют свои субстраты-доноры водорода с образованием  $H_2O_2$ , который, в свою очередь, реагирует с прекартамином с образованием картамина; таким образом, они предположили, что красная пигментация венчика сафлора опосредова-

на оксидазами. Анализ *in vitro* показал, что пероксидаза хрена, способна катализировать образование картамина из прекартамина в присутствии  $H_2O_2$  (Kumazawa et al., 1995) и в её отсутствие (Abe et al., 2020). Однако нативная пероксидазная активность неочищенного экстракта соцветий сафлора разлагает картамин *in vitro* (Kanehira, Saito, 1990). В исследовании, проведенном Waki с соавторами (Waki et al., 2021) были идентифицированы гены, кодирующие фермент картамин-синтазу CarS, ответственную за образование картамина из прекартамина.

### Гены картамин-синтазы CarS

В исследовании Waki с соавторами (Waki et al., 2021) из соцветий сафлора был выделен фермент картамин-синтаза CarS. Очищенный фермент CarS катализирует окислительное декарбоксилирование прекартамина с образованием картамина, используя  $O_2$  вместо  $H_2O_2$  в качестве акцептора электронов. Кроме того, фермент CarS также катализирует разложение картамина, однако это ферментативное разложение можно обойти путем адсорбции пигмента на целлюлозе.

Очищенный фермент был подвергнут обработке трипсином с последующим анализом полученных пептидов методом жидкостной хроматографии с tandemной масс-спектрометрией (ЖХ/МС/МС). На основе частич-

ных аминокислотных последовательностей исследователи клонировали кДНК (англ. complementary, cDNA) трёх изоформ CarS, CtPOD1, CtPOD2 и CtPOD3, и установили, что они гомологичны пероксидазе. Анализ полученных аминокислотных последовательностей показал, что CtPOD1, CtPOD2 и CtPOD3 были на 50%, 38% и 41%, соответственно, идентичны последовательностям пероксидазы хрена и имели общие консервативные последовательности активного сайта пероксидазы. Очищенный CarS (CtPOD1) был способен катализировать образование картамина из прекартамина в отсутствие H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> при pH 5,0. Было также подтверждено, что пероксидаза хрена катализирует образование картамина в отсутствие H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Однако для пероксидазы хрена и CtPOD1 активность CarS была максимальной в присутствии 0,25-0,5 мМ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, составляя соответственно 370 и 570% от активности в отсутствие H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Гены, кодирующие изоферменты CtPOD, экспрессировались не только в соцветиях оранжевого сафлора, продуцирующего картамин, но также в тканях и органах, которые его не содержат (Waki et al., 2021).

Оранжевые соцветия накапливали небольшое количество прекартамина, включая сафлоровый желтый, достигая максимальной концентрации на стадии увядания. Напротив, в белых соцветиях пигменты отсутствовали. Исследование венчиков оранжевого сорта под световым микроскопом показало, что желтые пигменты накапливаются исключительно в вакуолях клеток венчика, тогда как красные пигменты, а именно картамин, адсорбируются на нерастворимых внеклеточных веществах (Waki et al. 2021).

Была обнаружена тканеспецифичность экспрессии генов картамин-синтазы. Так, *CtPOD1* экспрессировался в бутонах, соцветиях, листьях и венчике оранжевого сорта, у которого бутоны, листья и венчик не накапливают картамина. *CtPOD1* также обильно экспрессировался в соцветиях белого сорта, где прекартамин и другие желтые хинохалконы отсутствовали. *CtPOD2* экспрессировался в оранжевых и белых соцветиях, тогда как в бутонах, листьях и венчике оранжевого сорта транскрипты не обнаруживались или их содержание находилось на низком уровне, что позволяет предположить, что экспрессия *CtPOD2* специфична для соцветий. Транскрипты *CtPOD3* наиболее часто обнаруживались в венчике, в сравнении с другими исследованными тканями и органами (Waki et al. 2021).

Среди паралога генов пероксидазы, экспрессируемых в оранжевых соцветиях, два дополнительных паралога, названные *CtPOD4* и *CtPOD5*, имели более высокий уровень транскрипции, чем у *CtPOD1*, *CtPOD2* и *CtPOD3*, а экспрессия *CtPOD5*, по-видимому, была специфичной для соцветия. Однако белки, продукты генов *CtPOD4* и *CtPOD5*, не были идентифицированы в ходе исследований. Предположительно только ограниченное количество паралога пероксидазы, CtPOD1, CtPOD2 и CtPOD3, участвуют в красной пигментации соцветий сафлора, одна-

ко точных данных относительно этого пока нет. Следует также отметить, что ранее предполагалось, что глюкозооксидаза опосредует образование картамина из прекартамина в сафлоре (Saito, 1993). Однако участие этого фермента в красной пигментации цветков сафлора маловероятно, поскольку у этого растения не обнаружено считывания информации с транскрипта глюкозооксидазы. Результаты транскриптомного анализа показали, что в оранжевых соцветиях сафлора экспрессируется 134 паралога гена пероксидазы (Waki et al. 2021). Это наблюдение, а также тот факт, что пероксидаза хрена способна катализировать образование картамина из прекартамина, позволяет предположить, что другие паралоги генов, кодирующих пероксидазы, экспрессируемые в соцветиях сафлора, также могут участвовать в синтезе картамина.

## Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют предположить следующий возможный сценарий красной пигментации соцветий сафлора. Гены CarS – *CtPOD1*, *CtPOD2* и *CtPOD3* – экспрессируются в соцветиях и других тканях растения сафлора, что не обязательно определяет окраску цветка. У сортов, продуцирующих картамин, прекартамин, вероятно, накапливается в клеточных структурах венчика, которые физически отделены от клеточного компартмента, содержащего CarS. В ходе старения цветков структурная целостность клеток венчика, вероятно, нарушается, что позволяет CarS локализоваться с прекартамином для продукции картамина. Полученный таким образом картамин адсорбируется клеточной стенкой венчика и нерастворимым внеклеточным матриком и, тем самым, достигается стабилизация красной пигментации. Синтез хинохалконов в сафлоре все еще слабо изучен и для полного использования потенциала вторичных метаболитов этого растения необходимы дальнейшие исследования.

## References/Литература

- Azami K., Hayashi T., Kusumi T., Ohmori K., Suzuki K. Total synthesis of carthamin, a traditional natural red pigment. *Angewandte Chemie International Edition*. 2019;58: 5321-5326. DOI: 10.1002/anie.201900454.
- Davies K.M., Jibrán R., Zhou Y., Albert N.W., Brummell D.A., Jordan B.R., Bowman J.L., Schwinn K.E. The evolution of flavonoid biosynthesis: a bryophyte perspective. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:7. DOI: 10.3389/fpls.2020.00007
- Guo D-D., Liu F., Tu Y-H., He B-X., Gao Y., Guo M-L. Expression patterns of three UGT genes in different chemotype safflower lines and under MeJA stimulus revealed their potential role in flavonoid biosynthesis. *PLoS One*. 2016;11(7):e0158159. DOI: 10.1371/journal.pone.0158159
- Gupta R.K., Singh S.B. Diallel analysis for seed yield, oil content and other economic traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Genetika-Yugoslavia*. 1988;20:161-173.
- Hartman A. Inheritance of corolla color in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Davis: University of California*. 1967;76:2.
- Kametaka T., Perkin A.G. CXXX. – Carthamine. Part I. *Journal of the Chemical Society, Transactions*. 1910;97:1415-1427. DOI: 10.1039/CT9109701415

- Kanehira T., Saito K. Decomposition of carthamin by peroxidases from *Carthamus tinctorius*. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*. 1990;186(3):179-187. DOI: 10.1016/S0015-3796(96)80006-0
- Knowles P.F. Variability in oleic and linoleic acid contents of safflower oil. *Economic Botany*. 1965;19:53-62. DOI: 10.1007/BF02971186
- Kosoto H. The history of Chinese drugs recorded in the "Japanese Pharmacopoeia. Fifteenth Edition". *Japanese Society of Pharmacognosy*. 2007;61:68-78. [in Japanese]
- Kotecha A. Inheritance and association of six traits in safflower. *Crop Science*. 1979;19(4):523-527. DOI: 10.2135/cropsci1979.0011183X001900040022x
- Kumazawa T., Amano Y., Haga T., Matsuba S., Sato S., Kawamoto K., Onodera J. Synthesis of model compounds of the precursor of carthamin, a colouring matter of safflower, and their conversion into carthamin-type compounds. *Chemistry Letters*. 1995;24(8):625-626.
- Leus T.V. Interallelic interactions genes' types in inheritance of corolla colour of safflower. *Bulletin of St. Petersburg University*. 2016;3(4):108-116. [in Russian] (Леус Т.В. Типы взаимодействия генов при наследовании окраски цветков у сафлора красильного. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2016;3(4):108-116). DOI: 10.21638/11701/spbu03.2016.408
- Liu X.M., Ahmad N., Yang L.Y., Fu T.Y., Kong J., Yao N., Dong Y.Y., Wang N., Li X.W., Wang F.W., Liu X., Liu W.C., Li H.Y. Molecular cloning and functional characterization of chalcone isomerase from *Carthamus tinctorius*. *AMB Express*. 2019;9(1):132. DOI: 10.1186/s13568-019-0854-x
- Liu X.M., Dong Y.Y., Yao N., Zhang Y., Wang N., Cui X.Y., Li X.W., Wang Y.F., Wang F.W., Yang J., Guan L.L., Du L.N., Li H.Y., Li X.K. *De novo* sequencing and analysis of the safflower transcriptome to discover putative genes associated with safflower yellow in *Carthamus tinctorius* L. *International Journal of Molecular Science*. 2015;16(10):25657-25677. DOI: 10.3390/ijms161025657
- Narkhede B.N., Deokar A.B. Inheritance of corolla color in safflower. *Journal of the Maharashtra Agricultural Universities* 1986;11:278-281.
- Narkhede B.N., Deokar A.B. Inheritance of spininess and pericarp types in safflower. *Journal of the Maharashtra Agricultural Universities* 1990;15:279-281.
- Pahlavani M.H., Saeidi G., Mirlohi A.F. Inheritance of flower color and spininess in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Heredity*. 2004;95:265-267. DOI: 10.1093/jhered/esh030.
- Pu Z., Zhang S., Tang Y., Shi X., Tao H., Yan H., Chen J., Yue S., Chen Y., Zhu Z., Zhou G., Su S., Duan J. Study on changes in pigment composition during the blooming period of safflower based on plant metabolomics and semi-quantitative analysis. *Journal of Separation Science*. 2021;44(22):4082-4091. DOI: 10.1002/jssc.202100439.
- Rakhmangulov R.S. Application of the CRISPR/Cas system for gene editing in ornamental crops. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2022;5(3):33-41. [in Russian] (Рахмангулов Р.С. Применение системы CRISPR/Cas для редактирования генов декоративных культур. *Биотехнология и селекция растений*. 2022;5(3):33-41). DOI: 10.30901/2658-6266-2022-3-01
- Rakhmangulov R.S., Tikhonova N.G. Breeding of ornamental plants in Russia. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(4):40-54. [in Russian] (Рахмангулов Р.С., Тихонова Н.Г. Селекция декоративных растений в России. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(4):40-54). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-4-04
- Ren C., Chen C., Dong S., Wang R., Xian B., Liu T., Xi Z., Pei J., Chen J. Integrated metabolomics and transcriptome analysis on flavonoid biosynthesis in flowers of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) during colour-transition. *PeerJ*. 2022;10:e13591. DOI: 10.7717/peerj.13591
- Ren C.X., Tang X.H., Chen C.P., Chen J., Pei J., Wu Y.Y., Wu Q.H. Cloning and expression analysis of a new chalcone isomerase gene during flowering in safflower. *Turkish Journal of Botany*. 2019;43(2):143-150. DOI: 10.3906/bot-1809-25
- Saito K. Glucose oxidase, a potential contributor towards flower colour modification in the capitula of *Carthamus tinctorius* L. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*. 1993;188:405-417.
- Saito K., Miyakawa K.-I., Murata T., Enomoto Y. Phytohormone-mediated induction of red colour in the flower florets of a cultivar of dyer's saffron (*Carthamus tinctorius*). *Zeitschrift für Naturforschung C*. 1998;53(9-10):828-832. DOI: 10.1515/znc-1998-9-1008
- Sato S., Obara H., Kumazawa T., Onodera J., Furuhashi K. Synthesis of (+), (-)-Model compounds and absolute configuration of carthamin; a red pigment in the flower petals of safflower. *Chemistry Letters*. 1996;25:833-834.
- Seshadri T.R., Thakur R.S. The coloring matter of the flowers of *Carthamus tinctorius*. *Current Science*. 1960;29:54-55.
- Shimokoriyama M., Hattori S. On the formation of carthamin in the flowers of *Carthamus tinctorius*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1955;54:93-101.
- Singer A.C., Crowley D.E., Thompson I.P. Secondary plant metabolites in phytoremediation and biotransformation. *Trends in Biotechnology*. 2003;21(3):123-130. DOI: 10.1016/S0167-7799(02)00041-0
- Tamburini D., Dyer J., David P., Aceto M., Turina V., Borla M., Vandenbeusch M., Gulmini M. Compositional and micro-morphological characterisation of red colourants in archaeological textiles from Pharaonic Egypt. *Molecules*. 2019;24(20):3761. DOI: 10.3390/molecules24203761
- Tu YH, Liu F., Guo DD., Fan LJ., Zhu ZX., Xue YR., Gao Y., Guo ML. Molecular characterization of flavanone 3-hydroxylase gene and flavonoid accumulation in two chemotyped safflower lines in response to methyl jasmonate stimulation. *BMC Plant Biology*. 2016;16:132. DOI: 10.1186/s12870-016-0813-5
- Urage E., Weyessa B. Genetic diversity of Ethiopian safflower collections. In: V. Ranga Rao, M. Ramachandran, (eds) *Proceedings Second International Safflower Conference; 1989 Jan. 9-13; Hyderabad, India*. Indian Society of Oilseeds Research, Directorate of Oilseeds Research; 1991. p. 175-178.
- Vakhrusheva T.E., Ivanenko E.N. Descriptor list for the species *Carthamus tinctorius* L. (safflower) (Классификатор вида *Carthamus tinctorius* L. (сафлор красильный). V.A. Korneichuk (ed.). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Вахрушева Т.Е., Иваненко Е.Н. Классификатор вида *Carthamus tinctorius* L. (сафлор красильный) под ред. В.А. Корнейчук. Ленинград: ВИР; 1985).
- Waki T., Terashita M., Fujita N., Fukuda K., Kato M., Negishi T., Uchida H., Aoki Y., Takahashi S., Nakayama T. Identification of the genes coding for carthamin synthase, peroxidase homologs that catalyze the final enzymatic step of red pigmentation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plant Cell Physiology*. 2021;62(10):1528-1541. DOI: 10.1093/pcp/pcab122
- Wang R., Ren C.X., Dong S., Chen C., Xian B., Wu Q.H., Wang J., Pei J., Chen J. Integrated metabolomics and transcriptome analysis of flavonoid biosynthesis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with different colors. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:712038. DOI: 10.3389/fpls.2021.712038
- Watanabe S. Cultivation, introduction, and historical note of the Benibana (safflower: *Carthamus tinctorius* L.) in Yamagata Prefecture. *Journal of the Yamagata Agriculture and Forestry Society*. 1977;34:73-76.
- Wen W.W., Alseekh S., Fernie A.R. Conservation and diversification of flavonoid metabolism in the plant kingdom. *Current Opinion in Plant Biology*. 2020;55:100-108. DOI: 10.1016/j.pbi.2020.04.004
- Yang W.T., Liu X.M., Wan Q., Yao N., Wang N., Zhang X.M., Jiao Z.D., Li H.Y., Li X.K. Full-length cDNA cloning of flavonol synthase genes of *Carthamus tinctorius* and construction plant expression vector. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*. 2015;40(4):634-638. [in Chinese]
- Yue S., Tang Y., Li S., Duan J.A. Chemical and biological properties of quinochalcone C-glycosides from the florets of *Carthamus tinctorius*. *Molecules*. 2013;18(12):15220-15254. DOI: 10.3390/molecules181215220

---

### ***Информация об авторе***

**Виктория Дмитриевна Бемова**, младший научный сотрудник, лаборатория генетики, селекции и биотехнологии декоративных и ягодных культур, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44, viktoriam.bemova@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

### ***Information about the author***

**Viktoria D. Bemova**, Junior Researcher, Laboratory of Genetics, Breeding and Biotechnology of Ornamental and Berry Crops, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, viktoriam.bemova@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9574-0356>

**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 declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.09.2025; одобрена после рецензирования 28.10.2025; принята к публикации 28.11.2025.

The article was submitted on 23.09.2025; approved after reviewing on 28.10.2025; accepted for publication on 28.11.2025.

Обзорная статья  
УДК 633.112.6:575.113:631.527  
DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-06



## *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. как важный генетический ресурс для селекции пшеницы

К. А. Федорова, Т. Е. Старовойтова, Н. А. Швачко

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

**Автор, ответственный за переписку:** Кристина Александровна Федорова, k.fedorova@vir.nw.ru

Большой интерес представляют древние злаковые культуры, обладающие уникальным генетическим разнообразием, обуславливающим широкий спектр наследственных признаков, включая особенности состава белков и микроэлементного комплекса зерна. *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. или полба – одна из них. Посевы полбы в настоящее время в России встречаются в Республиках Татарстан, Башкортостан, Чувашия, Дагестан и Карачаево-Черкесия. Полба может успешно произрастать в разных почвенно-климатических условиях, характерных для регионов с разными агроэкологическими характеристиками. Зерно полбы отличается высоким содержанием белка, включая все незаменимые аминокислоты, а также богато микроэлементами, витаминами и другими полезными веществами. Полба относится к группе древних злаков, которые имеют общего предка с мягкой пшеницей, и содержит гены, ответственные за признаки одомашнивания. Эти гены являются ценным источником для повышения устойчивости к болезням, адаптации к неблагоприятным климатическим условиям и создания новых сортов. Изучение генетического разнообразия полбы с использованием молекулярных маркеров и доступность эталонного генома открывают новые перспективы для селекции и генетических изменений, применимых к таким зерновым культурам, как полба, ячмень, что приведет к повышению их урожайности и более эффективному использованию полезных свойств. В обзоре обобщены сведения о *T. dicoccum*, её происхождении, важности одомашнивания, генетическом разнообразии и селекции.

**Ключевые слова:** полба, *Triticum dicoccum*, одомашнивание, генетическое разнообразие, молекулярные маркеры, здоровое питание

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 15Н 0481-2022-0007 “Выявление новых генетических маркеров селекционно значимых свойств и новых аллельных вариантов хозяйственно ценных генов в генофонде культурных растений и их диких родичей при помощи геномных и постгеномных технологий”

**Для цитирования:** Федорова К.А., Старовойтова Т.Е., Швачко Н.А. *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. как важный генетический ресурс для селекции пшеницы. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):136-149. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-06

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

© Федорова К.А., Старовойтова Т.Е., Швачко Н.А., 2025

---

Review article

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o6

## *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. as an important genetic resource for wheat breeding

Kristina A. Fedorova, Tatyana E. Starovoitova, Nataliya A. Shvachko

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

**Corresponding author:** Kristina A. Fedorova, k.fedorova@vir.nw.ru

Ancient cereal crops with unique genetic diversity, which determines a wide range of hereditary traits including specific protein composition and micronutrient profiles of the grain, are of great scientific interest. *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl., or emmer wheat, is one such species. In Russia, emmer wheat is currently cultivated in the Republics of Tatarstan, Bashkortostan, Chuvashia, Dagestan, and Karachay-Cherkessia. Emmer can successfully grow under various soil and climatic conditions typical of regions with diverse agroecological characteristics. Its grain is rich in protein, including all essential amino acids, as well as in micronutrients, vitamins, and other beneficial compounds. Emmer belongs to the group of ancient wheats that share a common ancestor with bread wheat, and contains genes responsible for domestication traits. These genes are a valuable source for improving disease resistance, adaptation to adverse climatic conditions, and the development of new varieties. The study of genetic diversity in emmer using molecular markers, along with the availability of a reference genome, opens new perspectives for breeding and genetic improvement of cereal crops such as emmer and barley, which may lead to increased yields and more efficient utilization of their beneficial properties. This review summarizes current knowledge on *T. dicoccum*, its origin, domestication, genetic diversity, and breeding potential.

**Keywords:** emmer, *Triticum dicoccoides*, domestication, genetic diversity, molecular markers, healthy nutrition

---

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of the State Assignment in accordance with the Thematic Plan of VIR, Project No. 15H 0481-2022-0007 “Identifying new genetic markers of significant traits for breeding and new allelic versions of agronomically important genes in the genetic diversity of cultivated plants and their wild relatives using genomic and postgenomic technologies”

**For citation:** Fedorova K.A., Starovoitova T.E., Shvachko N.A. *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. as an important genetic resource for wheat breeding. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):136-149. (in Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o6

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

---

© Fedorova K.A., Starovoitova T.E., Shvachko N.A., 2025

## Введение

Полба, или двузернянка *Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl. – мало используемый в настоящее время вид пшеницы, относящийся к числу пленчатых (оболочечных), у которых зерновка плотно заключена в цветковые чешуи, родоначальник твердой и мягкой пшеницы (Khmeleva et al., 2016). Зерно полбы отличается высокой питательной ценностью и богатым содержанием биологически активных веществ. Изучение этого вида позволяет оценить его потенциал для сельского хозяйства и пищевой промышленности, а также использовать генетические ресурсы полбы для создания новых, более урожайных и стрессоустойчивых сортов пшеницы. В настоящее время полба привлекает все большее внимание сторонников здорового питания и используется для производства крупы и кондитерских изделий благодаря своим уникальным вкусовым и полезным свойствам (Biradar et al., 2022). Полба является одомашненной формой дикого предка *Triticum dicoccoides* (Körn. ex Aschers. et Graebn.) Schweinf., одомашнивание которого произошло около 8000 лет до н.э. в странах Передней Азии. Этот процесс привёл к тому, что у растений закрепились аллели, обеспечивающие неосыпаемость колоса, строение соцветия и приспособленность к возделыванию человеком, что сформировало генетическую основу тетраплоидных пшениц. В Вавилоне и Древнем Египте двузернянка была главным культивируемым злаком. Благодаря устойчивости к неблагоприятным климатическим условиям полбу выращивали от Эфиопии до Закавказья, а затем человек распространил её по Европе. В США полба была завезена в конце XIX века из Восточной Европы, однако её производство на Северных Великих равнинах, то есть в современных северных штатах США (Christopher et al., 2018), сократилось из-за трудностей с обрубкой зерна и заменой ее сортов высокоурожайными сортами пшеницы со свободным обмолотом (Fisenko, Dragovich, 2024). Особенности полбы, заключающиеся в ломкости колосового стержня и трудной вымолачиваемости зерна, не позволили механизировать ее производство, а именно посев и обмолот по сравнению с другими зерновыми культурами (Kobylyansky et al., 2013). К середине XIX века площадь земель, используемых для выращивания полбы, значительно сократилась, с этим связано снижение разнообразия этой культуры вплоть до уровня исчезновения. На сегодняшний день в мире она занимает около 1% от общей площади пшеницы и выращивается в основном в Эфиопии, Иране, Индии, Восточной Турции, Италии, Испании и в Центральной Европе (Dhanavath, Prasada Rao, 2017).

В России полба известна с V века до н.э., а в XVIII–XIX веках н.э. была широко распространена в центральных и северных губерниях, в Поволжье и Сибири (Gilev et al., 2017). Только лишь в конце прошлого столетия в нашей стране возобновился интерес к полбе, как к сельскохозяйственной культуре, зерно которой обладает

полезными для здоровья свойствами. Полба как культура сохранилась на территории нашей страны лишь в Башкирии, Чувашии и на Северном Кавказе. Происходящие изменения климата являются еще одной причиной возобновления интереса к древним видам и сортам пшеницы, включая *T. dicoccum*, которые служат важным генетическим ресурсом для повышения устойчивости современных сортов твердой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессорам (Dhanavath, Prasada Rao, 2017; Saleh, 2020). Зерновки полбы заключены в плотные цветковые и колосковые чешуи, которые жёстко прилегают к оси колоса. Такая структура обеспечивает надёжную защиту зерна от механических повреждений и вредителей, а также способствует естественному саморассеянию при созревании (Peng et al., 2011; Kurkiev, 2018).

Полба отличается также скороспелостью, пластичностью, высокой засухоустойчивостью, что позволяет этой культуре произрастать даже в засушливые годы, в том числе на почвах с ограниченным плодородием (Khmeleva et al., 2016).

Характерной особенностью зерна полбы является более равномерное распределение питательных веществ как во внешних слоях – плодовой и семенной оболочках, алейроновом слое, так и в эндосперме. В отличие от зерна мягкой пшеницы, где основная часть витаминов и минералов сосредоточена преимущественно в оболочках зерновки, у полбы эндосперм содержит больше белка, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ, наряду с крахмалом (Kryukova et al., 2014). Кроме этого, зерно полбы значительно превосходит зерно мягкой и твердой пшеницы по содержанию редуцирующих сахаров, полиненасыщенных жирных кислот как жизненно важных для человека веществ (Соорег, 2015). В составе белка содержится 18 ценных аминокислот, которые легко усваиваются в связи с их высокой растворимостью. От общего содержания белка незаменимые аминокислоты составляют 29,7%, в то время как на долю заменимых приходится 70,3%. Потребление полбы способствует повышению иммунитета и нормализации сердечно-сосудистой и нервной систем. Несмотря на высокую питательную ценность и значительный потенциал полбы как источника питания, остаются недостаточно изученными аспекты, связанные с её возделыванием и последующей переработкой. В частности, плотное прилегание цветковых чешуй к зерну усложняет процесс обмолота. Это приводит к значительным потерям урожая и снижению эффективности переработки зерна. Разработанные агротехнические приёмы позволяют фермерским хозяйствам выращивать полбу экологически безопасным способом, используя минимальное количество органических веществ (Bencze et al., 2020). Цельнозерновые продукты из полбы обладают значительным потенциалом как компоненты здорового питания. Их уникальная питательная ценность определяется высоким содержанием белка с благоприятным аминокислотным составом, пищевых волокон, витаминов группы B, минеральных веществ (железо, цинк, магний) и анти-

оксидантов. Фитохимический профиль полбы характеризуется присутствием биологически активных вторичных метаболитов – фенольных соединений и каротиноидов, которые обеспечивают антиоксидантные и противовоспалительные свойства, а также формируют характерные сенсорные характеристики продукта, а именно внешний вид, вкус, текстуру (Zamaratskaia et al., 2021).

Настоящий обзор посвящён обобщению и анализу данных о *T. dicoccum*, о его происхождении, процессе одомашнивания, генетическом разнообразии и потенциале для селекции. Сделан акцент на значении полбы как ценного источника генетических ресурсов для создания новых сортов пшеницы с повышенной урожайностью, с улучшенным качеством зерна и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

### Полба – источник диетического, здорового питания

В последние десятилетия возникает все большая заинтересованность в результатах органического земледелия и производстве натуральных продуктов, содержащих фитонутриенты, которые способны замедлять старение и снижать частоту хронических заболеваний у человека (Monjotin et al., 2022). По этой причине, для использования в пищевых технологиях были выделены древние виды пшеницы, включая *Triticum monococcum* L., *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl. и *T. spelta* L. В отличие от обычных сортов мягкой и твердой пшеницы, древние виды, такие как полба, характеризуются тем, что колосковые и цветковые чешуи остаются плотно прилегающими к зерновкам после обмолота. Однако, большее содержание пищевых волокон и биоактивных соединений в их цельнозерновой муке связано, главным образом, с более плотными внутренними оболочками зерна. Перечисленные выше культуры обладают полезными свойствами для селекции современных сортов пшеницы (Peng et al., 2011). Основной целью программ селекции пшеницы в течение прошлого столетия было повышение урожайности зерна при одновременном сохранении высокобелковости. Однако изучению нутрициологических свойств зерна, то есть его пищевой и биологической ценности, включая аминокислотный состав, содержание витаминов, минералов и биоактивных соединений, уделялось значительно меньше внимания (Arzani, 2011). Данными, приведенными в литературе, подтверждается, что *T. dicoccum* превосходит по питательным, органолептическим показателям твердую пшеницу. Так, содержание белка в зерне *T. dicoccum* было стабильно выше (17,82%; Melese et al., 2022), чем у *T. durum* Desf. (13,68%; Bordonni et al., 2017), возделываемых в одинаковых агротехнических условиях. Низкая урожайность *T. dicoccum* обусловлена менее эффективным формированием структуры урожая, выражающимся в снижении числа продуктивных побегов, уменьшении массы зерна и перераспределении ассимилятов в пользу вегетативной биомассы, что показано в исследованиях,

проведённых при различных уровнях азотного питания и водообеспечения (Ehsanzadeh et al., 2021). При этом для полбы характерно более высокое содержание белка и других питательных веществ в зерне по сравнению с твёрдой и мягкой пшеницами, несмотря на более низкую урожайность (Longin et al., 2016; Ehsanzadeh et al., 2021). Согласно обзору G. Zamaratskaia с соавторами, двузернянка *T. dicoccum* содержит количественно и качественно сопоставимый с современными сортами хлебной пшеницы белковый комплекс клейковины, следовательно, исключается возможность включения данного злака в перечень безопасных компонентов рациона больных целиакией (Zamaratskaia et al., 2021).

Пищевая ценность зерновых культур, в частности *T. dicoccum*, подтвержденная рядом медицинских исследований (Dhanavath, Prasada Rao, 2017), направленных на снижение риска развития хронических заболеваний у человека, связана с высоким содержанием общего количества пищевых волокон и антиоксидантных соединений в его зерне (Lachman et al., 2012). Для полбы, помимо ключевых составляющих – белков, углеводов и жиров, характерен высокий уровень вторичных метаболитов растений, антиоксидантов, 215,4-257,6 мкмоль/мг; Lachman et al., 2012), а также макро- и микроэлементов. Эти компоненты играют важную роль в поддержании и укреплении иммунной системы и костной ткани человека. Согласно исследованию J. Lachman с соавторами, полба отличается повышенным уровнем селена, который способствует снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний, диабета, инсультов, а также некоторых типов онкологических заболеваний (Lachman et al., 2012).

Среди широкого спектра антиоксидантных соединений находящихся в древних сортах пшеницы, в частности в полбе, выделяются каротиноиды, фенолы, витамин Е, оказывающие выраженное защитное действие при хронических заболеваниях, таких как диабет, рак и сердечно-сосудистые заболевания (Arzani, 2019). В многочисленных исследованиях показано, что образцы полбы характеризуются высокой общей антиоксидантной активностью и значительным содержанием фенольных соединений, феруловой кислоты и флавоноидов (Arzani, 2011). Содержание полифенолов и каротиноидов в зерне *T. dicoccum*, возделываемой в различных регионах, в Италии, Турции, Грузии, Болгарии и Армении, варьировало в пределах от 508 до 2355 мкг/г и от 1,63 до 4,90 мкг/г, соответственно (Dhanavath, Prasada Rao, 2017), что подтверждает ее высокий антиоксидантный потенциал. По мнению диетологов, постоянное включение полбы в рацион питания человека способствует нормализации уровня сахара в крови, улучшению работы сердечно-сосудистой, эндокринной, нервной, пищеварительной и репродуктивной систем, а также в значительной степени снижает риск развития анемии, инфекционных и онкологических заболеваний (Arzani, 2019). Таким образом, опубликованные данные клинических и эпидемиологических исследований свидетельствуют о том, что вещества,

содержащиеся в зерне *T. dicocum*, оказывают положительное влияние на здоровье человека.

Однако для более полного понимания физиологической ценности этой культуры требуется проведение дополнительных работ в области диетологии и клинических исследований с использованием сортов, выращенных в различных агроклиматических условиях. Проведение таких исследований осложняется необходимостью учёта действия факторов окружающей среды и многолетней оценки их влияния на фенотип растений.

### Этапы одомашнивания

Полба, являясь одной из ранних культивируемых пшениц в мире (Zohary, Hopf, 2000), представляла собой основное растение неолитического земледелия. Одомашнивание дикого вида эммера *Triticum dicoccoides* Körn. ex Asch. et Graebn. в Передней Азии стало ключевым этапом перехода к оседлому земледелию (Feldman, Kislev, 2007). Археоботанические и молекулярные данные указывают на многоступенчатый процесс: первоначальная культивация дикорастущих популяций *T. dicoccoides*, последовавшие генетические изменения, включая мутации, приводившие к снижению осыпаемости колоса, а также формирование одомашненных форм, их постепенное пространственное обособление привели к появлению новой видовой формы *T. dicocum*. В дальнейшем, благодаря селекции, появились тетраплоидные формы пшеницы со свободным обмоломом. Изучение дикорастущих популяций *T. dicoccoides* позволяет восстановить ход этих процессов и понять генетические изменения, сопровождавшие одомашнивание.

Считают, что предковые формы пшеницы *T. dicoccoides* возникли в результате спонтанной гибридизации между дикой диплоидной пшеницей *Triticum urartu* Thumanjan ex Gandilyan и эгилопсом полбовидным *Aegilops speltoides* Tausch около 0,3-0,5 миллионов лет назад. Из-за ошибок в мейозе у потомства межродовых гибридов могли появиться формы с удвоенным набором хромосом, которые впоследствии, в процессе распространения и эволюции сформировали новый тетраплоидный вид *T. dicoccoides*. Полба дикая включает в себя два основных генетических таксона с различным географическим происхождением: западно-южную группу Леванта, из Ливана, юго-западной Сирии и Израиля, и центрально-восточную группу (Özkan et al., 2011).

Согласно данным М.С. Luo с соавторами, одомашнивание полбы происходило в горном районе Караджа-Даг (Luo et al., 2007). Поток генов между дикой и одомашниваемой полбами наблюдался по всему ареалу дикого вида. Генофонд одомашненного вида *T. dicocum* был обогащён генетическим материалом полбы дикой *T. dicoccoides* благодаря тому, что одомашнивание, вероятно, началось на юго-востоке Турции, где вид полбы дикой произрастал совместно с одомашниваемым. Это создавало условия для перекрёстного опыления и естественной гибридиза-

ции между популяциями дикого и культурного видов, что способствовало интрогрессии генов и расширению генетического разнообразия культурной полбы (Özkan et al., 2011). *T. dicoccoides* был одним из первых злаков, одомашненных на территории региона Плодородного полумесяца (Luo et al., 2007; Özkan et al., 2011).

На основании археологических находок периода 10300-9500 лет до н.э. показано, что дикая полба встречалась в Южном Леванте, регионе на Ближнем Востоке. Тогда как одомашненный *T. dicocum* появился позднее, 9500-9000 лет назад, и произрастал совместно с *T. dicoccoides* (Matsuoka, 2011). Н. Özkan с соавторами отмечают, что одомашненные популяции полбы происходили от популяций центрально-восточной расы дикой полбы (Özkan et al., 2011). На протяжении 1000 лет после одомашнивания двузернянка росла вместе с *T. dicoccoides*. Таким образом, гены, например ген, контролирующий ломкость колоса, передавались в результате спонтанных и неконтролируемых скрещиваний. В результате одомашненная пшеница-двузернянка появилась в виде полиморфных популяций (Feldman, Kislev, 2007).

Существуют данные, подтверждающие, что одомашнивание *T. dicocum* происходило по трем географически различным направлениям, что указывает на разнообразие условий его распространения. Первый начинался в Южном Леванте или на юге Турции и проходил через Анатолию и Грецию (Luo et al., 2007). *T. dicocum* распространился до Италии, юга Франции и Испании. Второй путь распространения *T. dicocum* начинался от территории Плодородного полумесяца (начало V тыс. до н.э.), далее вышеупомянутая культура попала в Центральную, Западную и Северную Европу, достигла Нидерландов, Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии и Скандинавии (Titov, 1988). Согласно третьему пути, данный вид тетраплоидной пшеницы достиг Центральной Европы через Закавказье и Кавказ и юг России (Vavilov, 1987). Многие образцы полбы хранятся в коллекциях генбанков США, Японии, Италии и России (Padulosi et al., 1996).

Одомашнивание растений происходило под влиянием искусственного, целенаправленного отбора форм с желаемыми признаками, то есть в определённой степени это была контролируемая естественная гибридизация, и естественного отбора мутаций в специфических агроэкологических условиях. Этот процесс привел к развитию морфологических, физиологических и генетических изменений, которые известны как синдром одомашнивания (Peleg et al., 2011; Avni et al., 2017). Для *T. dicocum* характерен набор признаков, которые были отобраны человеком в процессе перехода к оседлому образу жизни. На первых этапах развития земледелия этот процесс имел случайный характер. В дальнейшем одомашнивание привело к неломкому колосу, отделяемости колосковых чешуй, хорошей обмолачиваемости, но также изменило урожайность и компоненты урожайности двузернянки,

что выражалось в предотвращении естественных потерь урожая. Отличия современной полбы от дикого предка проявились в сокращении периода покоя семян, увеличении размера и количества семян и в потере механизма естественного рассеивания семян (Peng et al., 2011; Faris, 2014). Ключевые гены, задействованные в этих процессах, контролируют признаки: ломкий колос (*brittle rachis*, *Br*), неотделяемые колосковые чешуи (*tenacious glumes*, *Tg*) и квадратный колос (*squarehead*, *Q*) и выделяются как играющие роль в формировании неосыпаемости колоса, увеличении жесткости чешуй и обеспечении механизма эффективного обмолота зерна (Peng et al., 2011; Faris, 2014).

В процессе одомашнивания растений люди изолировали отдельные дикие популяции и отбирали их по важным для сельского хозяйства характеристикам, таким как снижение осыпаемости колоса, увеличение размера зерна и мягкость зерновой оболочки (Zohary, Hopf, 2000). Эти процессы изменили генетический состав популяций, включая потерю до 30-40% аллелей, а также способствовали адаптации растений к антропогенному воздействию и современным сельскохозяйственным технологиям. Следовательно, современные сорта пшеницы обладают ценными хозяйственными признаками, но часто демонстрируют меньшее генетическое разнообразие, что делает их более восприимчивыми к стрессорам и болезням. Для повышения адаптивного потенциала и устойчивости современных сортов пшеницы целесообразно использовать генетические ресурсы диких предков, таких как *T. dicoccoides*, а также других близкородственных видов, что позволяет вводить аллели, обеспечивающие устойчивость к стрессорам и улучшение питательной ценности зерна (Nevo, 2011). В контексте современных вызовов, связанных с изменением климата и ростом продовольственного спроса, использование диких форм пшеницы как источников адаптивных признаков приобретает особую значимость. Комбинирование традиционных методов селекции, маркерного отбора с современными биотехнологическими подходами позволяет создавать более продуктивные, устойчивые и питательно ценные сорта пшеницы, что имеет ключевое значение для обеспечения глобальной продовольственной безопасности (Nevo, 2011; Feldman, Kislev, 2007).

### **Вклад геномики тетраплоидной полбы дикой в понимание процесса доместикации пшеницы**

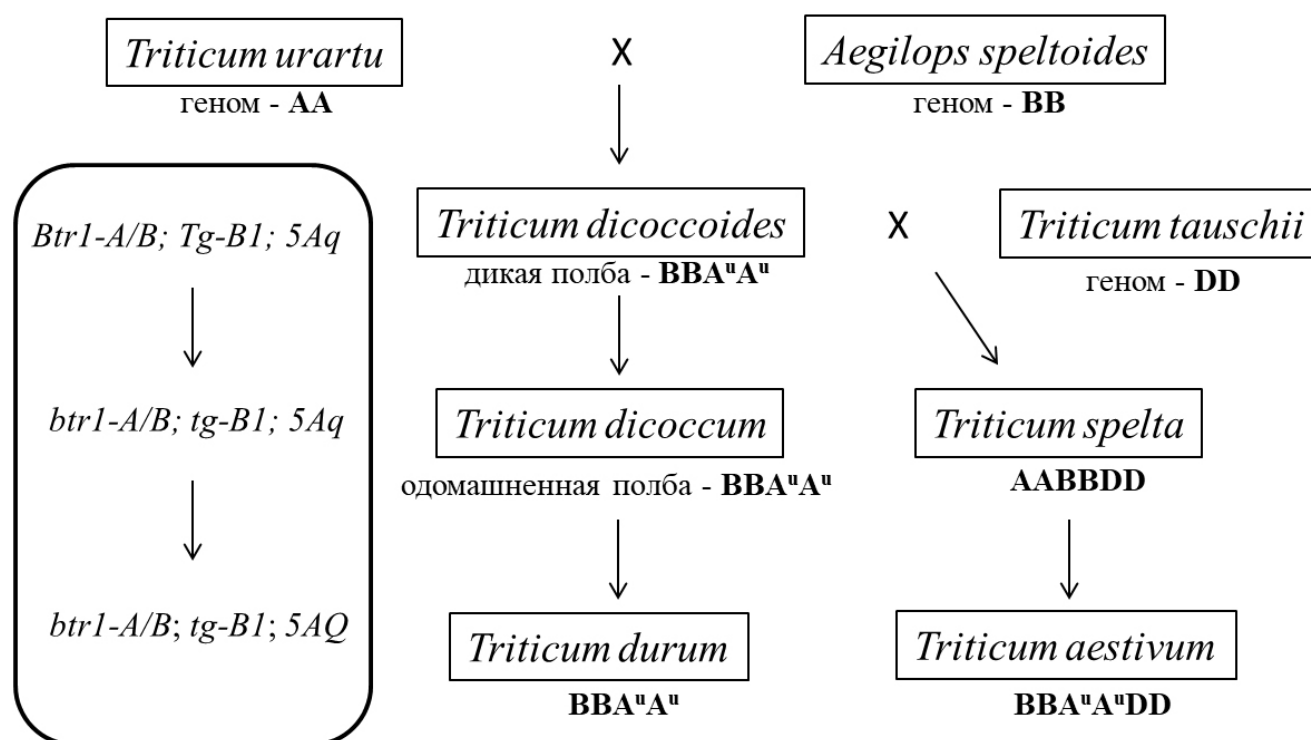
*T. dicoccoides*, дикий предок культурных тетраплоидных пшениц, двузернянки и твердой пшеницы, открывает новые перспективы в изучении процессов одомашнивания благодаря современным достижениям в геномике. Этот вид, играющий ключевую роль в эволюции пшеницы, стал доступен для детального генетического анализа (Haas et al., 2019). Разработка технологий секвенирования предоставила уникальную возможность для изучения генома *T. dicoccoides*, размер которого составляет 10,1

млрд пар оснований. В геноме этого вида были выявлены мутации, которые важны для понимания процесса одомашнивания. Эти мутации включают изменения в гене *Brittle rachis 1 (Br1)*. Этот ген контролирует ломкость колоса у дикого вида, и его мутации приводят к появлению спонтанно неосыпающихся колосьев, характерных для одомашненных видов. Первая сборка генома, выполненная в 2017 году, обеспечила комплексный анализ генетической структуры и разнообразия этого дикого вида, выделив его как ценный ресурс для улучшения геномов культурных форм пшеницы (Avni et al., 2017). Мутации в гене, контролирующем способность к лёгкому обмолоту пшеницы, сыграли решающую роль в ее одомашнивании. Идентификация доместикационных аллелей и их вариаций в популяциях дикого предка создаёт основу для использования этих генетических ресурсов в селекции, направленной на повышение урожайности и устойчивости культурных сортов к стрессовым условиям (Avni et al., 2017; Haas et al., 2019). На рисунке (Dhanavath, Prasada Rao, 2017) показана эволюция некоторых представителей рода *Triticum* L. в процессе одомашнивания.

Признак неосыпаемости колоса *T. dicoccum* контролируется рецессивными аллелями двух генов *Br-A1* и *Br-B1*, которые расположены на коротких плечах хромосом 3A и 3B, соответственно, и ортологичны генам ячменя *Brittle rachis 1 (Btr1)* и *Brittle rachis 2 (Btr2)*, определяющим тип колоса (Watanabe, Ikebata, 2000). Считается, что появление рецессивных аллелей этих генов связано с делецией двух пар нуклеотидов (на расстоянии 290 пн от стартового кодона) для *Btr1* и вставкой ~4000 нуклеотидов, расположенной после 539-го основания от стартового кодона для *Btr2* (Avni et al., 2017). В этом случае мутация в гене *Br-A1* приводит к неосыпаемости колоса при созревании и является отличительной чертой двузернянки по сравнению с ее диким предком. Гены *Br-1* у тетраплоидной пшеницы (включая *Br-A1* и *Br-B1*) определяют тип колоса, включая сохранение не полностью развитых колосков в нижней части колоса, образующих клиновидные сегменты (Li, Gill, 2006). Ген *Q*, расположенный в длинном плече хромосомы 5A, отвечает за такие признаки одомашнивания, как строение колоса, пленчатость-голозерность и способность к свободному обмолоту (Simons et al., 2006). Экспрессия гена *Q* у голозерных пшениц выше, чем у пленчатых. В исследовании, проведенном К.А. Головниной и соавторами, установлено, что изменения в экспрессии и структуре гена *Q* сыграли ключевую роль в переходе от пленчатых видов таких как *T. dicoccoides* и *T. dicoccum*, к современным голозерным видам, включая *T. aestivum*. Результаты свидетельствуют, что изменения морфологических особенностей колоса мягкой пшеницы, вероятнее всего, связаны с мутацией гена *Q*, что привело к увеличенному синтезу продукта, кодируемого этим геном, и, соответственно, изменению строения колоса (Golovnina et al., 2021). Благодаря сравнительному анализу ДНК последовательностей гена *Q* у контрастных образцов рода *Triticum*: генотипов *QQ*

(голозерность) и *qq* (пленчатость) была обнаружена точечная мутация в белок-кодирующей области, приводящая к замене валина на изолейцин (Val3 29Ile.) Эта мутация, предположительно, могла оказать влияние на возникновение признака «голозерность» (Simons et al., 2006). Мутация Val3 29Ile локализована в *A* геноме и у полиплоидных пшениц приводит к смене фенотипа, тогда как у диплоидных видов не приводит (Golovnina et al., 2021). Основная функциональная роль осталась только у одной копии гена *Q* в хромосоме 5A. Функциональное значение гомеологичных локусов в хромосомах 5B и 5D не выяснено (Simons et al., 2006). Другим геном, сопряженным с процессом одомашнивания, является ген прочности чешуи – *Tenacious glumes 2 (Tg2)*, расположенный в хромосоме 2BS. В результате рецессивной мутации в гене *Tg2* возникли голозерные формы пшеницы. Поскольку мутации, ответственные за свободный обмолот, появились лишь после формирования *T. dicoccoides*, культурная полба сохранила пленчатое зерно, подобно своему дикому предку (Matsuoka, 2011). Успешная полногеномная сборка 2019 года генома полбы дикой (WEW\_v1.0) стала важной вехой в геномике пшеницы. Показано, что геном содер-

жит более 80% повторяющихся последовательностей (Zhu et al., 2019). У образца полбы дикой Zavitan 82,2% генома состояло из мобильных элементов, включая 69,9% ретротранспозонов с длинными терминальными повторами и 11,5% ДНК-транспозонов. С высокой достоверностью было идентифицировано 65012 генов (Avni et al., 2017). К. Domb с соавторами провели детальный анализ динамики мобильных элементов, которые составляют более 80% генетических и эпигенетических изменений генома дикой полбы, в 50 образцах из пяти географически изолированных районов (Domb et al., 2017). В этом исследовании изучено изменение числа копий транспозонов среди образцов в каждом из пяти районов, выявлены уникальные схемы вставки, характерные для каждого района, проведен анализ влияния этих уникальных и специфических для популяции вставок на структуру и экспрессию генов. В этом исследовании показано, что мобильные элементы создают копии самих себя с помощью РНК-копий самих мобильных элементов, которые используются для синтеза новой ДНК через обратную транскрипцию. Этот процесс может происходить с разной интенсивностью и частотой или разным способом в зави-



**Рисунок. Эволюция некоторых представителей рода *Triticum* L. в процессе одомашнивания. *Tg*, *Btr1*, и *5Aq* – основные гены одомашнивания (по Dhanavath, Prasada Rao, 2017)**

**Figure. The evolution of certain members of the genus *Triticum* L. during the domestication process. *Tg*, *Btr1*, and *5Aq* are the main domestication genes (according to Dhanavath, Prasada Rao, 2017)**

симости от особенностей конкретной популяции дикой полбы. Кроме того, наблюдали популяционно-специфичные уникальные вставки мобильных элементов, некоторые из которых располагались внутри генов, кодирующих белок, или близко к ним. При этом образовались новые сочетания аллелей генов, которые способствовали процессу расхождения признаков у видов, происходящих от общего предка, в ходе адаптации к разным условиям среды. Публикации сборки генома *T. dicoccoides* в 2017 и 2019 годах дают возможность проанализировать способность генотипических изменений вносить вклад в процесс одомашнивания. Эти данные позволяют предположить, что процесс одомашнивания происходил постепенно с непостоянной скоростью, что обеспечивало поэтапное включение генетического материала диких популяций в геномы современных сортов пшеницы (Avni et al., 2017). Анализ 50 географически изолированных популяций дикой полбы показал, что мобильные элементы составляют более 80% генома, создавая уникальные вставки, некоторые из которых располагаются внутри или рядом с генами, влияющими на морфологические признаки колоса, размер зерна и устойчивость к стрессам (Domb et al., 2017). Эти данные указывают на активную роль транспозонов в формировании внутривидового разнообразия и адаптивных признаков. Дикорастущие виды, такие как *T. dicoccoides*, являются ценным источником генетического разнообразия и адаптивных механизмов, последнее позволяет этим видам выживать в условиях стресса. Исследование генома пшеницы предоставляет возможность для создания более устойчивых и урожайных сортов. В частности, применение молекулярных маркеров позволяет локализовать гены, которые определяют устойчивость к патогенам и абиотическим факторам. Секвенирование генома, в свою очередь, способствует выявлению генотипических различий между сортами. Благодаря этому, дикий предок выступает как ценный генетический ресурс для селекционных программ, направленных на получение более продуктивных и адаптированных форм пшеницы.

### Генетическое разнообразие и селекция полбы

В постгеномную эпоху развитие методов молекулярной генетики и биотехнологии сыграло значительную роль в раскрытии генетического потенциала культур, в том числе и *Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl., что позволило эффективнее использовать генетическое разнообразие этого вида (Rasheed et al., 2018). Е.Д. Бадаевой с соавторами выявлены 43 варианта хромосомных перестроек у *T. dicoccum*, из которых 26 не были описаны ранее, а также четко определены кариотипические группы: балканская, азиатская, европейская и эфиопская (Badaeva et al., 2015). Эти результаты предоставляют селекционерам инструменты для целенаправленного отбора родительских форм, разработки молекулярных маркеров, ассоциированных с устойчивостью к абиотичес-

ким стрессорам и неблагоприятным биотическим факторам, а также использования новых аллелей для повышения продуктивности и адаптивности сортов твердой пшеницы *T. durum*.

В работе W. Liu с соавторами метод GWAS был успешно применен для изучения генетического разнообразия и выделения локусов у 176 образцов полбы, ассоциированных с устойчивостью к желтой ржавчине *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (Liu et al., 2017). Исследование позволило установить 14 локусов, связанных с полевой устойчивостью, и 37 локусов, ассоциированных с устойчивостью на всех стадиях развития растений. Генотипирование популяции, включающей 176 образцов *T. dicoccum*, с использованием однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) показало высокий уровень генетического разнообразия. Было выявлено большое число локусов, связанных с устойчивостью к желтой ржавчине, что подтверждает значимость *T. dicoccum* как ценного генетического ресурса для селекции (Liu et al., 2017).

Полбу на протяжении многих веков выращивали в различных эколого-географических условиях, что привело к формированию разнообразия по ряду морфологических, физиологических, биохимических характеристик с широким спектром адаптационных признаков к различным стрессовым факторам окружающей среды. Согласно классификации ВИР, основанной на морфолого-экологических характеристиках и ареалах произрастания, *T. dicoccum* делится на четыре подвида: эфиопский, распространенный в Эфиопии, Йемене и Индии, европейский, произрастающий в Центральной и Западной Европе, марокканский, свойственный Марокко, и восточный, который подразделяется на волжско-балканскую и закавказскую группы (Dorofeev et al., 1976). Современные исследования в области цитогенетики и геномного анализа позволили выявить следующие группы полбы: европейская или средиземноморская, восточноевропейская, а именно балканская и поволжская, кавказская или азиатская и эфиопская (Haas et al., 2019).

При проведении анализа геномных данных с использованием однонуклеотидных полиморфизмов выявлены две генетически обособленные группы *T. dicoccum*: одна включает образцы Кавказа, Закавказья, Ирана и Европы, другая – образцы из Индии, Йемена и Эфиопии (Job, Botigue, 2023). J. Ren с соавторами провели анализ популяций дикорастущей полбы из Израиля и Турции и обнаружили, что однонуклеотидные полиморфизмы подходят для выявления генетического разнообразия в естественных популяциях этого вида. Генетическое разнообразие в значительной степени связано с экологическими факторами. Экологические факторы, влияющие по отдельности или в сочетании, обуславливают значительную изменчивость частот аллелей однонуклеотидных полиморфизмов. Использование SNP маркеров позволило выявить генетическое разнообразие в популяциях дикорастущей полбы, что указывает на наличие локальных адаптаций к различным экологическим условиям. Это свидетельствует

о потенциальной ценности *T. dicocum* как источника генетического материала для создания новых культурных сортов пшеницы (Ren et al., 2013).

Особое значение приобретает исследование дикого предка полбы – *T. dicocoides*, который является важным источником генетической изменчивости, необходимой для генетического обогащения и увеличения разнообразия мягкой пшеницы (Nevo, 2011). Основное направление селекции сосредоточено на создании сортов с высокой устойчивостью к абиотическим стрессорам, улучшенными агрономическими характеристиками и повышенным содержанием питательных веществ в зерне. Развитие генетических методов открыло новые возможности для использования *T. dicocum* в селекции пшеницы. В литературе имеются данные о проведении межвидовых скрещиваний полбы с *T. aestivum* и *T. durum*, что привело к возникновению новых генотипов, отличающихся высокими показателями урожайности и устойчивости к болезням (Ullah et al., 2018). Цель этих исследований в стабилизации урожайности и качества зерна мягкой и твердой пшениц в условиях изменения климата. Современные исследования также показывают, что дикая полба может быть важным источником аллелей генов, способствующих повышению устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам, а также увеличению содержания и концентрации питательных веществ в зерне (Xie, Nevo, 2008). В работе S. Ullah с соавторами продемонстрировано, что применение *T. dicocum* для создания новых сортов гексаплоидной пшеницы может способствовать увеличению массы зерна и урожайности (Ullah et al., 2018). В публикации Т.Н. Смекаловой и В.Д. Кобылянского (Smekalova, Kobylansky, 2019) представлены результаты межвидовых скрещиваний между различными сортами голозерной пшеницы *T. durum* и пленчатой пшеницы *T. dicoccon*. Следует отметить, что название *T. dicoccon* авторы используют как синоним современного таксономического обозначения *T. dicocum*, соответствующего культурной двузернянке. Полученный гибрид был отнесен к рангу подвида (*T. dicoccon* Schrank subsp. *nudicoccon* Kobyl. et Smekal.) и обладает характерными признаками, такими как плоский колос, двузерные колоски и легкое отделение зерновок от чешуй. Это исследование подчеркивает важность межвидовых скрещиваний для улучшения сортов пшеницы и изучения их характеристик. Таким образом, для стабилизации урожайности и улучшения качества зерна в условиях изменяющегося климата необходимо более тщательно исследовать генетические ресурсы *T. dicocum*, что позволит вывести сорта, способные лучше адаптироваться к новым условиям. Так, Государственный реестр селекционных достижений РФ 2023 года содержит сведения о семи сортах полбы (State Register ..., 2023). Процесс одомашнивания, в ходе которого произошли важные агрономические и физиологические изменения в строении растения, массе колоса и зерна, количестве зерен в колосе, продолжительности периода покоя семян, скорости и развития растений, снижении содержа-

ния белка и минералов и повышении количества углеводов в зерне, остается ключевым для понимания эволюционных изменений и улучшения культур (Katamadze et al., 2023). Эволюция защитных механизмов *T. dicocum* при влиянии абиотических стрессоров также представляет научный интерес. Результаты исследования О. Смирнова и соавторов показали, что эта культура обладает значительной устойчивостью к засухе и засолению. Устойчивость обусловлена такими факторами как поддержание высокого относительного содержания воды в листьях, развитая корневая система и поддержание оптимального уровня фотосинтетических пигментов (Smirnov et al., 2020). Благодаря этим свойствам *T. dicocum* является ценным источником генов для улучшения устойчивости и питательной ценности зерна современных сортов пшеницы, таких видов как *T. durum* и *T. aestivum*.

В последние десятилетия технологии, связанные с использованием молекулярных маркеров – полимеразная цепная реакция, анализ полиморфизма длин рестрикционных фрагментов, анализ полиморфизма длины амплифицированных фрагментов, анализ микросателлитов, однонуклеотидные полиморфизмы, секвенирование следующего поколения, полногеномный анализ ассоциаций и картирование количественных признаков, стали неотъемлемым инструментом в изучении генетической изменчивости сельскохозяйственных культур. В настоящее время молекулярные маркеры применяются благодаря высокому уровню полиморфизма у растений, который позволяет выявлять различия даже среди близкородственных форм. Эти технологии являются важным инструментом для создания сортов, устойчивых к неблагоприятным условиям, в том числе у *T. dicocum* (Younis et al., 2020). Важнейшими аспектами применения молекулярных маркеров являются оценка генетической стабильности и повышение точности отбора с использованием маркер-опосредованной селекции. Технологии предоставляют селекционерам информацию о наличии или отсутствии целевых аллелей, генетическом разнообразии и степени родства между родительскими формами, что позволяет более эффективно подбирать родительские линии и прогнозировать наследование ценных признаков (Grover, Sharma, 2016).

Для анализа генетического разнообразия многих злаков, в том числе полбы, разработаны и эффективно используются различные типы ДНК-маркеров, такие как RAPD, ISSR, SSR (Grover, Sharma, 2016). Вышеупомянутые маркеры позволяют выявлять различия в устойчивости к листовой ржавчине, вызванной *Puccinia triticina* Eriks, между различными генотипами полбы (Kiran et al., 2019). Особенно эффективными оказались SSR-маркеры, применение которых позволило получить значимые результаты при исследовании генетического разнообразия и установлении филогенетических взаимосвязей в пределах расширенного набора генотипов полбы. Эти маркеры доказали свою информативность и надежность при анализе генетической структуры популяций и отбо-

ре родительских форм. Одним из примеров применения SSR-маркеров является исследование S.Al Khanjari с соавторами, в котором был проведен анализ генетического разнообразия популяций полбы из Омана. При помощи набора из 29 SSR-маркеров исследователи выявили различия в происхождении образцов популяций. Результаты молекулярного анализа тетраплоидной пшеницы, включающей виды *T. dicoccum* и *T. durum*, представленные в вышеприведенном исследовании, подтверждают более ранние морфологические исследования, которые демонстрируют удивительно высокое разнообразие традиционных сортов пшеницы из Омана. Это разнообразие, вероятно, отражает влияние тысячелетней истории селекции растительного материала во множестве агроэкологических ниш в отдалённых горных оазисах. Исследование также подчеркивает, что использование микросателлитов обеспечивает высокую разрешающую способность в области дифференциации сортов и выявления гетерогенности отдельных образцов (Al Khanjari et al., 2007). В исследовании, проведенном Y. Teklu с соавторами, было проанализировано генетическое разнообразие 73 образцов полбы из 11 стран, включая Иран, Марокко, Армению, Йемен и другие. С применением SSR-маркеров выявлено 357 аллелей, что явилось свидетельством высокого уровня генетического разнообразия (от 0,60 до 0,94). Наиболее высокое число аллелей было выявлено в образцах из Ирана (4,86), а наиболее низкое (2,83) из Йемена. Индекс генетического разнообразия колебался от 0,52 в Словакии до 0,67 в Марокко, что подчеркивает значимость географического происхождения полбы в формировании ее генетического разнообразия. Анализ показал наличие географического разделения генетических популяций полбы, что имеет значение для сохранения генетических ресурсов пшеницы эммер и её селекции (Teklu et al., 2007). D. Tagimanova с соавторами исследовали генетическое разнообразие израильской дикой полбы, используя специфические молекулярные маркеры IRAP (Inter-Retrotransposon Amplified Polymorphism) и REMAP (Retrotransposon-Microsatellite Amplified Polymorphism), которые основаны на использовании ретротранспозонов и микросателлитов (Tagimanova et al., 2015). Благодаря этим маркерам появилась возможность выявлять полиморфизмы в ДНК, и проводить сравнительный генетический анализ. В генетических исследованиях, в том числе при картировании локусов количественных признаков (QTL), используются молекулярные маркеры SCoT (Start Codon Targeted markers). Высокая стабильность, воспроизводимость и надёжность обеспечивают эффективное применение SCoT-маркеров для изучения генетического разнообразия популяций и селекции. При использовании маркеров SCoT десять генотипов пшеницы были исследованы на предмет генетического разнообразия в нормальных условиях и в условиях засухи. Были выявлены различия по ключевым агрономическим признакам, таким как урожайность, длина колоса, масса 1000 зерен, а также низкий

индекс восприимчивости к засухе (Shaban et al., 2022).

P. Cabas-Lühmann с соавторами с применением молекулярно-генетических методов выявили QTLs, ассоциированные с урожайностью и качеством зерна полбы (Cabas-Lühmann et al., 2023). Повышение адаптации пшеницы к стрессовым факторам и исследование генетического потенциала *T. dicoccum* и *T. dicoccoides* являются ключевыми направлениями будущих исследований, поскольку эти виды могут предоставить важные гены для повышения содержания белка и минералов в современных сортах пшеницы. У *T. dicoccoides* был идентифицирован ген *Gpc-B1*, оказывающий влияние на повышение содержания белка, железа и цинка в зерне. При использовании молекулярных маркеров он был успешно перенесен в современные сорта твердой и мягкой пшеницы (Mitrofanova, Khakimova, 2016), однако у отдельных реципиентных генотипов, несущих этот ген, может наблюдаться снижение урожайности. В связи с этим, необходим поиск новых генов, способствующих улучшению питательных качеств без снижения агрономических характеристик реципиента. Также, в работе P. Cabas-Lühmann с соавторами было показано, что качество белка в сортах твердой пшеницы выше, чем в староместных сортах. У *T. dicoccum* выявлены перспективные аллели, которые могут улучшить вязкоупругие свойства теста. Результаты этого исследования могут быть использованы совместно с методами традиционной, маркер-опосредованной и ускоренной селекции, для уточнения карт локусов количественных признаков, связанных с качеством белка и теста у предковых культур, что создает основу для более точного отбора генотипов при разработке новых сортов твердой пшеницы с сохранением агрономических характеристик (Cabas-Lühmann et al., 2023).

Исследование общегеномных ассоциаций (GWAS) является мощным инструментом для изучения генетической основы сложных признаков и выявления взаимосвязей между фенотипом и генотипическими полиморфизмами. F. Taranto с соавторами (Taranto et al., 2023) провели исследование генетического разнообразия 123 образцов твёрдой пшеницы (*Triticum turgidum* subsp. *durum*), включая местные, древние (стародавние) и современные сорта. Благодаря применению полногеномного поиска ассоциаций (GWAS) и исследованию данных более 4000 однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) было обнаружено 28 генетических локусов, влияющих на морфологические признаки растений и качество зерна. Установлено, что отбор привел к уменьшению генетического разнообразия и изменил структуру участков генома, где сохраняются устойчивые сочетания аллелей, контролируемые важные сельскохозяйственные характеристики. Полученные сведения помогают лучше понять генетическую основу агрономически важных признаков твёрдой пшеницы, что позволяет их использовать для маркер-опосредованного отбора (Jamil et al., 2019). Применение GWAS в сочетании с молекулярными маркерами открывает новые перспективы для понимания генетической основы

важных признаков и может значительно ускорить реализацию селекционных программ (Juliana et al., 2019). Маркеры, ассоциированные с QTLs, должны быть валидированы у генотипов, различающихся по происхождению и проявлению признаков, что обеспечивает надёжность их использования в программах молекулярной селекции (Kumar et al., 2024). Анализ 30 SSR-маркеров, связанных с содержанием железа, цинка и белка в зерне у 56 генотипов двузернянки, способствовал подтверждению семи из них, включая Xgwm271 и Xbarc67, которые объясняли до 72,8% фенотипической изменчивости. Применение данных маркеров позволяет отбирать сорта, которые характеризуются повышенным содержанием микроэлементов и улучшенными показателями продуктивности (Kumar et al., 2024).

Таким образом, генетическое разнообразие *T. dicocum* и его дикого предка *T. dicoccoides* представляет собой универсальный источник ценных аллелей для селекции как самой полбы, так и культурных видов пшеницы – твёрдой *T. durum* и мягкой *T. aestivum*. Наибольшее практическое значение данные генетические ресурсы имеют для интрогрессии генов, контролирующей устойчивость к абиотическим и биотическим стрессорам, а также признаков, определяющих качество и питательную ценность зерна. Благодаря использованию молекулярных маркеров и геномных исследований возможно детальное изучение генетического разнообразия *T. dicocum*. Эти технологии позволяют селекционерам с большей точностью осуществлять подбор родительских форм, что приведет к созданию новых сортов, устойчивых к абиотическим и биотическим стрессорам. Несмотря на значительный вклад, который молекулярные маркеры и геномные исследования могут внести в повышение урожайности и обеспечение населения продовольствием, эти технологии малодоступны селекционерам в нашей стране. Совокупность широкого применения существующих и развитие новых методов генотипирования, при свободном доступе к полным ДНК последовательностям, позволяют более эффективно изучать молекулярные механизмы, лежащие в основе формирования агрономических признаков.

### Заключение

Полба, как один из редких видов пшеницы, приобретает актуальность в современных исследованиях и сельском хозяйстве. Генетические ресурсы полбы, в основном представленные в коллекциях, предоставляют уникальные возможности для изучения ее разнообразия и селекционного потенциала.

Современные геномные технологии, в частности секвенирование генома, полногеномный анализ ассоциаций, молекулярные маркеры, технологии редактирования генов и развитие биоинформатики позволяют более эффективно выявлять и отбирать гены, связанные с важными признаками. К таким признакам относятся устойчи-

вость к неблагоприятным условиям, например, к засухе и болезням, качество и питательная ценность зерна, которые способствуют повышению продуктивности и адаптивности современных сортов. Высокая питательная ценность зерна, богатое содержание в нем белков, клетчатки и антиоксидантов делают полбу перспективным источником здорового питания и важным фактором в профилактике хронических заболеваний человека. Полба также является интересным объектом для изучения эволюции пшеницы и этапов ее одомашнивания. Благодаря сохранению генетических вариантов и аллелей, утерянных в современных сортах твердой и мягкой пшеницы, полба является ценным источником для расширения генетического потенциала культурных растений. Геномные исследования полбы, включая расшифровку ее генома, существенно продвинули наше понимание процессов доместикировки и селекции. Полученные данные будут иметь огромное значение для создания более продуктивных и устойчивых к глобальным экологическим изменениям сортов пшеницы.

### References/Литература

- Al Khanjari S., Hammer K., Buerkert A., Roder M.S. Molecular diversity of Omani wheat revealed by microsatellites: I. Tetraploid landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2007;54:1291-1300. DOI: 10.1007/s10722-006-9125-1
- Arzani A. Emmer (*Triticum turgidum* spp. *dicocum*) Flour and Breads. In: V.R. Preedy, R.R. Watson, V.B. Patel (eds). *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention*. Elsevier; 2011. Ch. 7. p. 67-78. DOI: 10.1016/B978-0-12-380886-8.10007-8
- Arzani A. Emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicocum*) flour and bread. In: Preedy V.R., Watson R.R. (eds). *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Academic Press; 2019. Ch. 7. p.89-98.
- Avni R., Nave M., Barad O., Baruch K., Twardziok S., Gundlach H., Hale I., Mascher M., Spannagl M., Wiebe K., Jordan K., Golan G., Deek J., Ben-Zvi B., Himmelbach A., MacLachlan R.P., Sharpe A.G., Fritz A., Ben-David R., Budak H., Fahima T., Korol A., Faris J.D., Hernandez A., Mikel M.A., Levy A.A., Steffenson B., Maccaferri M., Tuberosa R., Cattivelli L., Faccioli P., Ceriotti A., Kashkush K., Pourkheirandish M., Komatsuda T., Eilam T., Sela H., Sharon A., Ohad N., Chamovitz D.A., Mayer K.F.X., Stein N., Ronen G., Peleg Z., Pozniak C.J., Akhunov E.D., Distelfeld A. Wild emmer genome architecture and diversity elucidate wheat evolution and domestication. *Science*. 2017;357(6346):93-97. DOI: 10.1126/science.aan0032
- Badaeva E.D., Keilwagen J., Knüpffer H., Waßermann L., Dedkova O.S., Mitrofanova O.P., Kovaleva O.N., Liapunova O.A., Pukhalskiy V.A., Özkan H., Graner A., Willcox G., Kilian B. Chromosomal passports provide new insights into diffusion of emmer wheat. *PLoS One*. 2015;10(5):e0128556. DOI: 10.1371/journal.pone.0128556
- Bencze S., Makádi M., Aranyos T.J., Balla K., Bartók B., Varga B., Berzsenyi Z., Bedő Z. Re-introduction of ancient wheat cultivars into organic agriculture – emmer and einkorn cultivation experiences under marginal conditions. *Sustainability*. 2020;12(4):1584. DOI: 10.3390/su12041584
- Biradar S.S., Yashavanthakumar K.J., Navathe S., Reddy U.G., Baviskar V.S., Gopalareddy K., Lamani K., Desai S.A. Dicocum wheat: current status and future perspectives. In: P.L. Kashyap, V. Gupta, O.P. Gupta, R. Sendhil, K. Gopalareddy, P. Jasrotia, G.P. Singh (eds). *New Horizons in Wheat and Barley Research. Crop Protection and Resource Management*. 1<sup>st</sup> ed. Singapore: Springer; 2022. Ch. 21. p.531-563. DOI: 10.1007/978-981-16-4449-8\_21

- Bordoni A., Danesi F., Dardevet D., Dupont D., Fernandez A.S., Gille D., dos Santos C.N., Pinto P., Re R., Rémond D., Shahar D.R., Vergères G. Ancient wheat and health: a legend or the reality? A review on KAMUT khorasan wheat. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*. 2017;68(3):278-286. DOI: 10.1080/09637486.2016.1247434
- Cabas-Lühmann P., Arriagada O., Matus I., Marcotuli I., Gadaleta A., Schwember A.R. Comparison of durum with ancient tetraploid wheats from an agronomical, chemical, nutritional, and genetic standpoints: a review. *Euphytica*. 2023;219(6):61. DOI: 10.1007/s10681-023-03188-z
- Christopher A., Sarkar D., Zwinger S., Shetty K. Ethnic food perspective of North Dakota common emmer wheat and relevance for health benefits targeting type 2 diabetes. *Journal of Ethnic Foods*. 2018;5(1):66-74. DOI: 10.1016/j.jef.2018.01.002
- Cooper R. Re-discovering ancient wheat varieties as functional foods. *Journal of traditional and complementary medicine*. 2015;5(3):138-143. DOI: 10.1016/j.jtcm.2015.02.004
- Dhanavath S., Prasad Rao U.J.S. Nutritional and nutraceutical properties of *Triticum dicoccum* wheat and its health benefits: An overview. *Journal of Food Science*. 2017;82(10):2243-2250. DOI: 10.1111/1750-3841.13844
- Domb K., Keidar D., Yaakov B., Khasdan V., Korol A.B., Kashkush K. Transposable elements generate population-specific insertional patterns and allelic variation in genes of wild emmer wheat (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*). *BMC plant biology*. 2017;17(1):1-16. DOI: 10.1186/s12870-017-1134-z
- Dorofeev V.F., Yakubtsiner M.M., Rudenko M.I. et al. Wheats of the world. Leningrad: Kolos; 1976. [in Russian] (Пшеницы мира/ В.Ф. Дорофеев, М.М. Якубцинер, М.И. Руденко [и др.]. Ленинград: Колос; 1976).
- Ehsanzadeh P., Vaghar M., Roushanzamir V. Persistent indifference of emmer wheats grain yield and physiological functions to nitrogen supply: evidence from two irrigation regimes and dryland conditions. *International Journal of Plant Production*. 2021;15:391-405. DOI: 10.1007/s42106-021-00143-7
- Faris J.D. Wheat domestication: key to agricultural revolutions past and future. In: R. Tuberosa, A. Graner, E. Frison (eds). *Genomics of Plant Genetic Resources. Vol. 1. Managing, sequencing and mining genetic resources*. Dordrecht: Springer; 2014. p.439-464. DOI: 10.1007/978-94-007-7572-5\_18
- Feldman M., Kislev M.E. Domestication of emmer wheat and evolution of free-threshing tetraploid wheat. *Israel Journal of Plant Sciences*. 2007;55(3-4):207-221. DOI: 10.1560/IJPS.55.3-4.207
- Fisenko A.V., Dragovich A.Y. Origin, genetic diversity, and migration routes of cultivated emmer *Triticum dicoccum*. *Russian Journal of Genetics*. 2024;60(4):421-432. DOI: 10.1134/S1022795424040069
- Gilev S.D., Tsybalenko I.N., Meshkova N.V., Filippova E.A., Kozlova T.A. The yield of spelt and technological quality of grain depending on methods of cultivation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017;(5):12-16. [in Russian] (Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Мешкова Н.В., Филиппова Е.А., Козлова Т.А. Урожайность полбы и технологические качества зерна в зависимости от приемов возделывания. *Аграрный вестник Урала*. 2017;(5):12-16). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/urozhaynost-polby-i-tehnologicheskie-kachestva-zerna-v-zavisimosti-ot-priemov-vozdelyvaniya> [дата обращения: 13.08.2025].
- Golovnina K.A., Blinov A.G., Mayorov V.I., Watanabe N., Goncharov N.P. Expression analysis of *Q* gene, controlling of the important domestication and breeding wheat traits. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(4):172-175. [in Russian] (Головнина К.А., Блинов А.Г., Майоров В.И., Ватанабе Н., Гончаров Н.П. Анализ экспрессии гена *Q*, контролирующего ряд важных признаков пшениц, включенных в процессе доместикации селекции. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;7(4):172-175). DOI: 10.18699/LettersVJ2021-7-22
- Grover A., Sharma P.C. Development and use of molecular markers: past and present. *Critical reviews in biotechnology*. 2016;36(2):290-302. DOI: 10.3109/07388551.2014.959891
- Haas M., Schreiber M., Mascher M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: Genes, genomics, and future directions. *Journal of integrative plant biology*. 2019;61(3):204-225. DOI: 10.1111/jipb.12737
- Job A., Botigue L. Genomic analysis of emmer wheat shows a complex history with two distinct domestic groups and evidence of differential hybridization with wild emmer from the western Fertile Crescent. *Vegetation History and Archaeobotany*. 2023;32:545-558. DOI: 10.1007/s00334-022-00898-7
- Jamil M., Ali A., Gul A., Ghafoor A., Napar A.A., Ibrahim A.M.H., Naveed N.H., Yasin N.A., Mujeeb-Kazi A. Genome-wide association studies of seven agronomic traits under two sowing conditions in bread wheat. *BMC plant biology*. 2019;19:1-18. DOI: 10.1186/s12870-019-1754-6
- Juliana P., Poland J., Huerta-Espino J., Shrestha S., Mondal S., Crossa J., Crespo-Herrera L., Toledo F.H., Govindan V., Mondal S., Kumar U., Bhavani S., Singh P.K., Randhawa M.S., He X., Guzman C., Dreisigacker S., Rouse M.N., Jin Y., Pérez-Rodríguez P., Montesinos-López O.A., Singh D., Rahman M.M., Marza F., Singh R.P. Improving grain yield, stress resilience and quality of bread wheat using large-scale genomics. *Nature genetics*. 2019;51(10):1530-1539. DOI: 10.1038/s41588-019-0496-6
- Katamadze A., Vergara-Díaz O., Uberegui E., Yoldi-Achalandabaso A., Araus J.L., Vicente R. Evolution of wheat architecture, physiology, and metabolism during domestication and further cultivation: Lessons for crop improvement. *The Crop Journal*. 2023;11(4):1080-1096.
- Khmeleva E.V., Korolev D.N., Penkova Yu.V. Study of quality of grain spelt and development method of bread on the basis of its. In: *Production and processing of agricultural products: quality and safety management: Collection of materials of the IV International scientific and practical conference (Proizvodstvo i pererabotka sel'skokhozyaystvennoy produktsii: menedzhment kachestva i bezopasnosti); 2016 May 17-18; Voronezh, Russia*. Voronezh: Voronezh SAU; 2026. p.174-178. [in Russian] (Хмелева Е.В., Королев Д.Н., Пенкова Ю.В. Изучение показателей качества зерна полбы и разработка способа производства хлеба на его основе. В кн.: *Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности; 17-18 мая 2016 г.; Воронеж, Россия*. Воронеж: Воронежский ГАУ; 2016. С.174-178).
- Kiran K.M., Pavithra K., Suma S.B. A study of defensive enzymes against leaf rust (*Puccinia triticina* Eriks) infection and molecular screening for leaf rust resistant genes in dicoccum wheat (*Triticum dicoccum*) genotypes. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*. 2019;9(4):69-84.
- Kobylyansky V.D., Surin N.A., Popova N.M. The agrobiological evaluation of samples spelt in conditions Krasnoyarsk forest steppe. *Fundamental research*. 2013;(10-3):601-605. [in Russian] (Кобылянский В.Д., Сурин Н.А., Попова Н.М. Агробиологическая оценка образцов голозерной полбы в условиях Красноярской лесостепи. *Фундаментальные исследования*. 2013;(10-3):601-605).
- Kryukova E.V., Leiberova N.V., Likhacheva E.I. Study of the chemical composition of emmer wheat flour. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2014;2(2):75-81. [in Russian] (Крюкова Е.В., Лейберова Н.В., Лихачева Е.И. Исследование химического состава полбяной муки. *Вестник ЮрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2014;2(2):75-81).
- Kumar R., Biradar S.S., Patil M.K., Desai S.A., Krishnappa G., Jaggal L., Hanchinal R.R., Mirajkar K.K., Fyroy U., Ram S. Validation of quantitative trait loci for biofortification traits and variability research on agro-morphological, physiological, and quality traits in dicoccum wheat (*Triticum dicoccum* Schrank.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024;72(1):187-199. DOI: 10.1007/s10722-024-01973-w
- Kurkiev U.K. The origin of the light threshing of the spike character in genus *Triticum*. In: *Botany in the Modern World: Proceedings of the XIV Congress of the Russian Botanical Society and the Conference 'Botany in the Modern World (Botanika v sovremennom mire: trudy XIV S'yezda Russkogo botanicheskogo obshchestva i konferentsii); 2018 June 18-23; Makhachkala, Russia*. Makhachkala: ALEF; 2018. Vol. 2. p.378-380. [in Russian] (Куркиев У.К. К происхождению легкого обмола в роде *Triticum*. В кн.: *Ботаника в современном мире: труды XIV Съезда Русского ботанического общества*

- и конференции; 18–23 июня 2018 г.; Махачкала, Россия. Махачкала: АЛЕФ; 2018. Т. 2. С.378-380).
- Lachman J., Orsák M., Pivec V., Jirů K. Antioxidant activity of grain of emmer (*Triticum monococcum* L.), emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl [Schrack]) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Plant, Soil and Environment*. 2012;58(1):15-21. DOI: 10.17221/300/2011-PSE
- Li W., Gill B.S. Multiple genetic pathways for seed shattering in the grasses. *Functional & Integrative Genomics*. 2006;6(4):300-309. DOI: 10.1007/s10142-005-0015-y
- Liu W., Maccaferri M., Chen X., Laghetti G., Pignone D., Pumphrey M., Tuberosa R. Genome-wide association mapping reveals a rich genetic architecture of stripe rust resistance loci in emmer wheat (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*). *Theoretical and Applied Genetics*. 2017;130:2249-2270. DOI: 10.1007/s00122-017-2957-6
- Longin C.F.H., Ziegler J., Schweiggert R., Koehler P., Carle R., Würschum T. Comparative study of hulled (einkorn, emmer, and spelt) and naked wheats (durum and bread wheat): agronomic performance and quality traits. *Crop Science*. 2016;56(1):302-311. DOI: 10.2135/cropsci2015.04.0242
- Luo M.-C., Yang Z.-L., You F.M., Kawahara T., Waines J.G., Dvorak J. The structure of wild and domesticated emmer wheat populations, gene flow between them, and the site of emmer domestication. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;114:947-959. DOI: 10.1007/s00122-006-0474-0
- Matsuoka Y. Evolution of polyploid *Triticum* wheats under cultivation: the role of domestication, natural hybridization and allopolyploid speciation in their diversification. *Plant and Cell Physiology*. 2011;52(5):750-764. DOI: 10.1093/pcp/pcr018
- Melese B., Satheesh N., Fanta S.W., Neme K., Tola Y.B., Shiferaw B. Nutritional, Functional, Physical, and Microstructural Properties of Ethiopian Emmer Wheat (*Triticum dicoccum* L.) Varieties as Affected by Growing Seasons and Grain Types (Hulled and Dehulled). *Journal of Food Quality*. 2022:493270. DOI: 10.1155/2022/9493270
- Mitrofanova O.P., Khakimova A.G. New genetic resources in wheat breeding to increase protein content in grain. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016;20(4):545-554. [in Russian] (Митрофанова О.П., Хакимова А.Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(4):545-554). DOI: 10.18699/VJ16.177
- Monjot N., Amiot M. J., Fleurentin J., Morel J. M., Raynal S. Clinical evidence of the benefits of phytonutrients in human healthcare. *Nutrients*. 2022;14(9):1712. DOI: 10.3390/nu14091712
- Nevo E. *Triticum*. In: C. Kole (ed.) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Cereals*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011. p.407-456. DOI: 10.1007/978-3-642-14228-4\_10
- Özkan H., Willcox G., Graner A., Salamini F., Kilian B. Geographic distribution and domestication of wild emmer wheat (*Triticum dicoccoides*). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2011;58:11-53. DOI: 10.1007/s10722-010-9581-5
- Padulosi S., K. Hammer K., J. Heller J. (eds). *Hulled wheats*. Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute; 1996. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/365427683\\_Hulled\\_wheats\\_Padulosi\\_et\\_al\\_1996](https://www.researchgate.net/publication/365427683_Hulled_wheats_Padulosi_et_al_1996) [accessed Nov. 10, 2025].
- Peng J., Sun D., Nevo E. Wild emmer wheat, '*Triticum dicoccoides*', occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian Journal of Crop Science*. 2011;5(9):1127-1143.
- Rasheed A., Mujeeb-Kazi A., Ogbonnaya F. C., He Z., Rajaram S. Wheat genetic resources in the post-genomics era: promise and challenges. *Annals of Botany*. 2018;121(4):603-616. DOI: 10.1093/aob/mcx148
- Ren J., Chen L., Sun D., You F.M., Wang J., Peng Y., Nevo E., Beiles A., Sun D., Luo M.-C., Peng J. SNP-revealed genetic diversity in wild emmer wheat correlates with ecological factors. *BMC evolutionary biology*. 2013;13(1):1-15. DOI: 10.1186/1471-2148-13-169
- Saleh M.M. Stress breeding of neglected tetraploid primitive wheat (*Triticum dicoccum*, *Triticum carthlicum* and *Triticum polonicum*). *Current botany*. 2020;11:99-110. DOI: 10.25081/cb.2020.v11.6100
- Shaban A. S., Arab S. A., Basuoni M. M., Abozahra M. S., Abdelkawy A. M., Mohamed M.M. SCoT, ISSR, and SDS-PAGE investigation of genetic diversity in several Egyptian wheat genotypes under normal and drought conditions. *International Journal of Agronomy*. 2022. DOI: 10.1155/2022/7024028
- Simons K.J., Fellers J.P., Trick H.N., Zhang Z., Tai Y.S., Gill B.S., Faris J.D. Molecular characterization of the major wheat domestication gene *Q*. *Genetics*. 2006;172(1):547-555. DOI: 10.1534/genetics.105.044727
- Smekalova T.N., Kobylansky V.D. A new subspecies of wheat: *Triticum dicoccon* (Schrack) Schuebl. subsp. *nudicoccon* Kobyl. et Smekal. *Proceedings of applied botany, genetics and breeding*. 2019;180(4):148-151. [in Russian] (Смекалова Т.Н., Кобылянский В.Д. Новый подвид пшеницы *Triticum dicoccon* (Schrack) Schuebl. subsp. *nudicoccon* Kobyl. et Smekal. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):148-151). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-148-151
- Smirnov O., Karpets L.-A., Zinchenko A., Kovalenko M., Taran N. Changes of morphofunctional traits of *Triticum aestivum* and *Triticum dicoccon* seedlings caused by polyethylene glycol-modeling drought. *Journal of Central European Agriculture*. 2020;21(2):268-274. DOI: 10.5513/JCEA01/21.2.2341
- State Register of selection achievements approved for use. Vol. 1. Plant Varieties (official publication). Moscow; 2023. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). Москва; 2023). URL: <https://reestr.gossortf.ru/> [дата обращения: 11.10.2025].
- Tagimanova D. S., Novakovskaya A. P., Uvashov A. O., Khapilina O. N., Kalendar R. N. Use of retrotransposon markers for analysing the genetic diversity of wild emmer wheat (*Triticum dicoccoides*). *Biotechnology. Theory and Practice*. 2015;(4):28-37. DOI: 10.11134/btp.4.2015.4
- Taranto F., Esposito S., Fania F., Sica R., Marzario S., Logozzo G., Gioia T., De Vita P. Breeding effects on durum wheat traits detected using GWAS and haplotype block analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1206517. DOI: 10.3389/fpls.2023.1206517
- Teklu Y., Hammer K., Röder M.S. Simple sequence repeats marker polymorphism in emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank): Analysis of genetic diversity and differentiation. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2007;54:543-554. DOI: 10.1007/s10722-006-0011-7
- Titov V.S. Europe during the lithic and bronze ages in the history of Europe (Yevropa v kamennyi i bronzovyi veka v istorii Yevropy). Moscow: Nauka; 1988. p.47-124. [in Russian] (Титов В.С. Европа в каменный и бронзовый века в истории Европы. Москва: Наука; 1988. С.47-124).
- Ullah S., Bramley H., Daetwyler H., He S., Mahmood T., Thistlethwaite R., Trethowan R. Genetic contribution of emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank) to heat tolerance of bread wheat. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:1529. DOI: 10.3389/fpls.2018.01529
- Vavilov N.I. Origin and geography of cultivated plants (Proiskhozhdenie i geografiya kul'turnykh rastenii). Leningrad: Nauka, Leningrad branch; 1987. [in Russian] (Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Ленинград: Наука, Ленинградское отделение; 1987).
- Watanabe N., Ikebata N. The effects of homoeologous group 3 chromosomes on grain colour dependent seed dormancy and brittle rachis in tetraploid wheat. *Euphytica*. 2000;115:215-220. DOI: 10.1023/A:1004066416900
- Xie W., Nevo E. Wild emmer: genetic resources, gene mapping and potential for wheat improvement. *Euphytica*. 2008;164:603-614. DOI: 10.1007/s10681-008-9703-8
- Younis A., Ramzan F., Ramzan Y., Zulfiqar F., Ahsan M., Lim K. B. Molecular markers improve abiotic stress tolerance in crops: a review. *Plants*. 2020;9(10):1374. DOI: 10.3390/plants9101374
- Zamaratskaia G., Gerhardt K., Wendin K. Biochemical characteristics and potential applications of ancient cereals – an underexploited opportunity for sustainable production and consumption. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;107:114-123. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.12.006
- Zhu T., Wang L., Rodriguez J.C., Deal K.R., Avni R., Distelfeld A., McGuire P.E., Dvorak J., Luo M.C. Improved genome sequence of wild emmer wheat Zavitan with the aid of optical maps. *G3*:

### ***Информация об авторах***

**Кристина Александровна Федорова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, k.fedorova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7150-2396>

**Татьяна Евгеньевна Старовойтова**, аспирант, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, t.starovojtova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8085-9696>

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

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

**Kristina A. Fedorova**, Cand. Sci. (Biology), Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, k.fedorova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7150-2396>

**Tatyana E. Starovoitova**, Postgraduate Student, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia, t.starovojtova@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8085-9696>

**Nataliya A. Shvachko**, 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, n.shvachko@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1958-5008>

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 12.11.2025; одобрена после рецензирования 22.12.2025; принята к публикации 24.12.2025.

The article was submitted on 12.11.2025; approved after reviewing on 22.12.2025; accepted for publication on 24.12.2025.

Краткое сообщение

УДК 575.1:575.2:631.526.32:635.64(476)(092)

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-04



## К юбилею видного деятеля науки в области генетики и биотехнологии растений профессора СПбГУ Людмилы Алексеевны Лутовой

А. А. Нижников<sup>1,2,3</sup>, И. С. Бузовкина<sup>1,2</sup>, Е. К. Хлесткина<sup>1,4</sup>, А. В. Кочетов<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Вавиловское общество генетиков и селекционеров, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

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

<sup>5</sup> Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Антон Александрович Нижников, a.nizhnikov@spbu.ru

В статье рассматривается научный и педагогический путь профессора кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), доктора биологических наук, профессора Людмилы Алексеевны Лутовой, отметившей в октябре 2025 года свой юбилей. Освещаются ключевые направления ее исследований в области биотехнологии и генетики развития растений, включая разработку генетических основ регенерации растений, создание устойчивых к вредителям форм и растений-продуцентов биологически активных соединений. Особое внимание уделено ее педагогической деятельности, вкладу в подготовку кадров и популяризацию достижений генетики. Коллеги по Вавиловскому обществу генетиков и селекционеров (ВОГиС) сердечно поздравили Людмилу Алексеевну с юбилеем и пожелали ей дальнейших творческих успехов в науке и педагогической работе, энергии, крепкого здоровья и успешного развития генетики и биотехнологии растений в СПбГУ!

**Ключевые слова:** Людмила Алексеевна Лутова, СПбГУ, ВОГиС, биотехнология растений, генетика развития растений, молекулярная генетика, геномная инженерия, регенерация растений, агробиотехнология, научное руководство, педагогическая деятельность

**Для цитирования:** Нижников А.А., Бузовкина И.С., Хлесткина Е.К., Кочетов А.В. К юбилею видного деятеля науки в области генетики и биотехнологии растений профессора СПбГУ Людмилы Алексеевны Лутовой. *Биотехнология и селекция растений*. 2025;8(4):150-155. DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-04

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

© Нижников А.А., Бузовкина И.С., Хлесткина Е.К., Кочетов А.В., 2025

## Brief communication

DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o4

## On the anniversary of a prominent scientist in the field of plant genetics and biotechnology, Professor of St. Petersburg State University Lyudmila Alekseevna Lutova

Anton A. Nizhnikov<sup>1,2,3</sup>, Irina S. Buzovkina<sup>1,2</sup>, Elena K. Khlestkina<sup>1,4</sup>, Alexey V. Kochetov<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Vavilov Society of Geneticists and Breeders, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

<sup>5</sup> Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

**Corresponding author:** Anton A. Nizhnikov, a.nizhnikov@spbu.ru

The article describes the scientific and pedagogical career of Lyudmila Alekseevna Lutova, Doctor of Biological Sciences, and Professor of the Department of Genetics and Biotechnology at St. Petersburg State University (SPbU), who celebrated her anniversary in October 2025. It highlights key areas of her research in biotechnology and plant developmental genetics, including the development of the genetic bases of plant regeneration and the creation of pest-resistant forms and plants producing bioactive compounds. Particular attention is paid to her teaching activities, contributions to personnel training, and the popularization of advances in genetics. Colleagues from the Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS) cordially congratulated Lyudmila Alekseevna on her anniversary and wished further creative success in her research and teaching, lots of energy, good health, and successful development of plant genetics and biotechnology at St. Petersburg University!

**Keywords:** Lyudmila Alekseevna Lutova, St. Petersburg State University, VOGiS, plant biotechnology, plant developmental genetics, molecular genetics, genetic engineering, plant regeneration, agrobiotechnology, scientific leadership, teaching activities

**For citation:** Nizhnikov A.A., Buzovkina I.S., Khlestkina E.K., Kochetov A.V. On the anniversary of a prominent scientist in the field of plant genetics and biotechnology, Professor of St. Petersburg State University Lyudmila Alekseevna Lutova. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2025;8(4):150-155. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2025-4-o4

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.

© Nizhnikov A.A., Buzovkina I.S., Khlestkina E.K., Kochetov A.V., 2025

6 октября 2025 года свой юбилей отметила Людмила Алексеевна Лутова – доктор биологических наук, профессор кафедры генетики и биотехнологии Санкт-Петербург-

ского государственного университета (СПбГУ), признанный специалист в области биотехнологии и генетики растений (рисунок).



**Рисунок. Профессор Людмила Алексеевна Лутова награждена медалью «За вклад в работу ВОГиС». 16.10.2025 года**

**Fig. Professor Lyudmila Alekseevna Lutova was awarded the medal "For Contribution to the work of VOGiS." October 16, 2025**

**Научный путь Людмилы Алексеевны Лутовой,** начавшийся на кафедре генетики и селекции Ленинградского государственного университета имени А.А. Жданова, ЛГУ (ныне – Санкт-Петербургский государственный университет, СПбГУ) еще в школьные годы, – это ярчайший образец беззаветного служения науке. Окончив университет в 1969 году, она посвятила ему всю свою последующую деятельность в науке и педагогике. Ее становление как ученого проходило на кафедре генетики и селекции ЛГУ (ныне – кафедра генетики и биотехнологии СПбГУ) под руководством ведущих специалистов в области генетики растений, в первую очередь – Василия Сергеевича Федорова (1903–1976).

Будучи совсем молодым специалистом, Л.А. Лутова уже проявила организаторские способности, исследовательскую целеустремленность, интерес к экспериментальной работе: ею с нуля в начале 70-х годов организована лаборатория культуры клеток растений, которая в дальнейшем переросла в лабораторию генной и клеточной инженерии. В 1970-1980-е годы Л.А. Лутова активно занималась изучением генетических основ регенерации растений *in vitro*. Эти исследования легли в основу ее кандидатской диссертации, защищенной

в 1976 году. В работе были впервые показаны генетические различия между линиями растений по способности к морфогенезу в культуре тканей, что открыло новые возможности для селекции и биотехнологических приложений (Lutova, 1977).

Докторскую диссертацию на тему «Генетические аспекты морфогенеза и регенерации растений» Л.А. Лутова защитила в 1993 году. В этом фундаментальном исследовании были систематизированы данные о генетическом контроле процессов регенерации, выявлены маркеры, позволяющие прогнозировать регенерационную способность растений, и предложены методы оптимизации биотехнологических протоколов (Lutova, 1993).

**Основные научные достижения.** Л.А. Лутова является признанным на мировом уровне специалистом в области биотехнологии растений, общей и молекулярной генетики растений. Ею разработаны генетические основы процесса регенерации у растений, на которых базируются методы культуры растительных тканей для целей селекции растений, создания культур-продуцентов для фундаментальных исследований. Под ее руководством были выполнены прорывные работы в обла-

сти защиты растений: разработана технология получения растений, устойчивых к фитофторе и колорадскому жуку, а также созданы растения-продуценты биологически активных соединений с использованием методов генной инженерии. В настоящее время научный коллектив, возглавляемый Людмилой Алексеевной, успешно использует передовые технологии, такие как генетическое редактирование (CRISPR/Cas9), методы геномики и транскриптомики, при работе как с модельными растительными объектами, так и с сельскохозяйственными культурами. (Lutova, 2003, 2010; Osipova et al., 2012; Lutova et al., 2000, 2010; Lutova, Matveeva, 2016)

Возглавляемая Людмилой Алексеевной лаборатория генной и клеточной инженерии растений кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ развивает наиболее передовые направления генетики и биотехнологии растений. (Matveeva et al., 2012; Azarakhsh et al., 2015, 2020; Sulima et al., 2017; Lebedeva et al., 2023; Potsenkovskaia et al., 2024)

**Педагогическая деятельность и подготовка кадров.** Наряду с научной работой, Л.А. Лутова внесла значительный вклад в высшее образование:

- разработала и читает курсы «Генная инженерия и биотехнология растений», «Генетика развития растений», которые стали обязательными для студентов кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ;
- инициировала создание магистерской программы СПбГУ «Молекулярно-генетические основы агробиотехнологии», объединившей фундаментальную генетику и прикладные аспекты биотехнологии (Molecular Genetic..., 2025);
- руководила подготовкой 18 кандидатов и одного доктора наук, многие из которых продолжают работать в ведущих научных центрах России и за рубежом;
- активно участвует в работе летних школ и образовательных программ для школьников, включая проекты образовательного центра «Сириус», основных образовательных программ магистратуры Научно-технологического университета «Сириус»;
- учебники «Биотехнология высших растений» и «Генетика развития растений» стали настольными книгами для студентов и аспирантов, а методические разработки используются в преподавании биологии во многих вузах страны (Lutova, 2003, 2010; Lutova et al., 2000, 2010).

**Организационная и экспертная работа.** Профессор Л.А. Лутова ведет активную научно-организационную деятельность:

- входит в состав ученых советов СПбГУ и биологических институтов РАН;
- является членом диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций;
- сотрудничает с редакциями ведущих научных журналов: «Генетика», «Физиология растений», «Эколо-

гическая генетика»;

- участвует в экспертизе научных проектов РФФ, РФФИ и Министерства науки и высшего образования РФ;
- является членом Центрального совета ВОГиС (Vavilov Society..., 2025).

Ранее профессор Л.А. Лутова занимала должность заместителя декана биологического факультета СПбГУ по научной работе, где курировала развитие междисциплинарных исследований и международное сотрудничество (On the anniversary of Professor..., 2025).

**Награды и признание.** За многолетний труд Л.А. Лутова удостоена:

- звания «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»;
- премии СПбГУ «За педагогическое мастерство»;
- благодарностей Министерства образования и науки РФ и руководства СПбГУ;
- почетных грамот научных обществ и профессиональных ассоциаций;
- медали Н.И. Вавилова (ВИР).

Ее работы неоднократно отмечались на всероссийских и международных конкурсах научных достижений. В 2025 году Людмила Алексеевна Лутова награждена медалью «За вклад в работу ВОГиС», отметившей ее масштабный вклад в развитие генетики и биотехнологии растений и подготовку кадров высшей квалификации в нашей стране.

Юбилей Людмилы Алексеевны Лутовой – это значимое событие для всей отечественной генетики. Возглавляемая ею научная школа, объединяющая фундаментальные исследования и прикладные разработки, получила широкое признание и продолжает развиваться, а ученики успешно реализуют ее идеи в новых проектах (5th International..., 2025).

Вклад Л.А. Лутовой в биотехнологию и генетику растений трудно переоценить: от пионерских работ по регенерации *in vitro* до наиболее современных исследований в области геномного редактирования. Ее педагогическая деятельность сформировала целое поколение исследователей, а учебники и методические разработки не теряют актуальности. Пример Л.А. Лутовой показывает, как сочетание фундаментальных исследований, практического применения результатов и педагогической миссии может привести к успеху в развитии научной школы.

## References/Литература

- Azarakhsh M., Kirienko A.N., Zhukov V.A., Lebedeva M.A., Dolgikh E.A., Lutova L.A. Knotted1-like homeobox 3: a new regulator of symbiotic nodule development. *Journal of Experimental Botany*. 2015;66(22):7181-7195. DOI: 10.1093/jxb/erv414
- Azarakhsh M., Rumyantsev A.M., Lebedeva M.A., Lutova L.A.

- Cytokinin biosynthesis genes expressed during nodule organogenesis are directly regulated by the KNOX3 protein in *Medicago truncatula*. *PLoS ONE*. 2020;15(4):e0232352. DOI: 10.1371/journal.pone.0232352. Erratum in: *PLoS ONE*. 2020;15(5):e0234022. DOI: 10.1371/journal.pone.0234022
- 5th International Conference «GMO: history, achievements, social and environmental risks»: (dedicated to the anniversary of Lyudmila Alekseevna Lutova, Professor of the Department of Genetics and Biotechnology and Doctor of Biological Sciences); 2025 December 1-3; St. Petersburg, Russia. *St. Petersburg State University*: [website]. 2025. [in Russian] (Пятая международная конференция «ГМО: история, достижения, социальные и экологические риски»: (к юбилею профессора кафедры генетики и биотехнологии, доктора биологических наук Людмилы Алексеевны Лутовой); 1-3 декабря 2025 г.; Санкт-Петербург, Россия. *Санкт-Петербургский государственный университет*: [сайт]. 2025). URL: <https://events.spbu.ru/gmo-2025> [дата обращения: 13.10.2025].
- Lebedeva M.A., Dobyckina D.A., Yashenkova Ya.S., Romanyuk D.A., Lutova L.A. Local and systemic targets of the MtCLE35-SUNN pathway in the roots of *Medicago truncatula*. *Journal of Plant Physiology*. 2023;281:153922. DOI: 10.1016/j.jplph.2023.153922
- Lutova L.A. Study of the genetics of cotyledon regeneration in radish *Raphanus L. var. radicola* Pers. under aseptic culture conditions (Izuchenie genetiki regeneratsii semyadoley redisa *Raphanus L. var. radicola* Pers. v usloviyakh asepticheskoy kul'tury) [dissertation]. Leningrad: A.A. Zhdanov Leningrad State University; 1977. [in Russian] (Лутова Л.А. Изучение генетики регенерации семядолей редиса *Raphanus L. var. radicola* Pers. в условиях асептической культуры: дис. ... канд. биол. наук. Ленинград: Ленинградский государственный университет им. А.А. Жданова; 1977).
- Lutova L.A. Genetic control of totipotency traits and their role in ontogenetic adaptation of higher plants (Geneticheskiy kontrol' priznakov totipotentnosti i ikh rol' v ontogeneticheskoy adaptatsii vysshikh rasteniy) [dissertation]. St. Petersburg: St. Petersburg State University; 1993. [in Russian] (Лутова Л.А. Генетический контроль признаков тотипотентности и их роль в онтогенетической адаптации высших растений: дис. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет; 1993).
- Lutova L.A. Biotechnology of higher plants: Textbook (Biotekhnologiya vysshikh rasteniy: uchebnyk). St. Petersburg: St. Petersburg University Press; 2003. [in Russian] (Лутова Л.А. Биотехнология высших растений: учебник. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета; 2003).
- Lutova L.A. Biotechnology of higher plants: Textbook (Biotekhnologiya vysshikh rasteniy: uchebnyk). 2nd ed., supplemented and corrected. St. Petersburg: St. Petersburg University Press; 2010. [in Russian] (Лутова Л.А. Биотехнология высших растений: учебник. Изд. 2-е, доп. и испр. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета; 2010).
- Lutova L.A., Ezhova T.A., Dodueva I.E., Osipova M.A. Genetics of plant development. S.G. Inge-Vechtomo (ed.). 2nd ed., revised and enlarged. St. Petersburg: N-L Publishing House; 2010. [in Russian] (Лутова Л.А., Ежова Т.А., Додуева И.Е., Осипова М.А. Генетика развития растений / под ред. С.Г. Инге-Вечтомова. 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург: Издательство Н-Л; 2010).
- Lutova L.A., Matveeva T.V. Genetic and cellular engineering in biotechnology of higher plants: Textbook (Gennaya i kletochnaya inzheneriya v biotekhnologii vysshikh rasteniy: uchebnyk). I.A. Tikhonovich (ed.). St. Petersburg: Eco-Vector; 2016. [in Russian] (Лутова Л.А., Матвеева Т.В. Генная и клеточная инженерия в биотехнологии высших растений / под ред. И.А. Тихоновича. Санкт-Петербург: Эко-Вектор; 2016).
- Lutova L.A., Provorov N.A., Tikhodeev O.N., Tikhonovich I.A., Khodzhaiova L.T., Shishkova S.O. Genetics of plant development. S.G. Inge-Vechtomo (ed.). St. Petersburg: Nauka; 2000. [in Russian] (Лутова Л.А., Проворов Н.А., Тиходеев О.Н., Тихонович И.А., Ходжайова Л.Т., Шишкова С.О. Генетика развития растений / под ред. С.Г. Инге-Вечтомова. Санкт-Петербург: Наука; 2000).
- Matveeva T.V., Bogomaz D.I., Pavlova O.A., Nester E.W., Lutova L.A. Horizontal gene transfer from genus *Agrobacterium* to the plant *Linaria* in nature. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2012;25(12):1542-1551. DOI: 10.1094/MPMI-07-12-0169-R
- Molecular genetic foundations of agrobiotechnology: Master's Degree Program (Molekulyarno geneticheskiye osnovy agrobiotekhnologii: obrazovatel'naya programma magistratury). *St. Petersburg State University*: [website]. 2025. [in Russian] (Молекулярно-генетические основы агrobiотехнологии: образовательная программа магистратуры. *Санкт-Петербургский государственный университет*: [сайт]. 2025). URL: <https://spbu.ru/posturayushchim/programms/magistratura/molekulyarno-geneticheskiye-osnovy-agrobiotekhnologii> [дата обращения: 13.08.2025].
- On the anniversary of Professor Lyudmila Alekseevna Lutova. *St. Petersburg State University, Faculty of Biology*: [website]. 2025. [in Russian] (К юбилею профессора Людмилы Алексеевны Лутовой. *Биологический факультет СПбГУ*: [сайт]. 2025). URL: <https://bio.spbu.ru/870-k-yubileyu-professora-lyudmily-alekseevny-lutovoj.html>. Дата публикации: 06.10.2025
- Osipova M.A., Mortier V., Demchenko K.N., Tsyganov V.E., Tikhonovich I.A., Lutova L.A., Dolgikh E.A., Goormachtig S. *WUSCHEL*-related *HOMEOBOX5* gene expression and interaction of CLE peptides with components of the systemic control add two pieces to the puzzle of autoregulation of nodulation. *Plant Physiology*. 2012;158(3):1329-1341. DOI: 10.1104/pp.111.188078
- Potsenkovskaia E.A., Tvorogova V.E., Simonova V.Y., Konstantinov Z.S., Kiseleva A.S., Matveenko A.G., Brynchikova A.V., Lutova L.A. CRISPR-based editing of the *Medicago truncatula LEC1* gene. *Plants*. 2024;13(22):3226. DOI: 10.3390/plants13223226
- Sulima A.S., Zhukov V.A., Afonin A.A., Zhernakov A.I., Tikhonovich I.A., Lutova L.A. Selection signatures in the first exon of paralogous receptor kinase genes from the *Sym2* region of the *Pisum sativum L.* genome. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8:1957. DOI: 10.3389/fpls.2017.01957
- Vavilov Society of Geneticists and Breeders: [website]. 2025. [in Russian] (Вавиловское общество генетиков и селекционеров: [официальный сайт]. 2025). URL: [https://vogis.org/?page\\_id=31](https://vogis.org/?page_id=31) [дата обращения: 13.08.2025].

### Информация об авторах

**Антон Александрович Нижников**, доктор биологических наук, профессор РАН, профессор, заведующий, кафедра генетики и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; вице-президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГИС), 630090 Россия, Новосибирск; заведующий, лаборатория протеомики надорганизменных систем, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ), 196608 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3; [a.nizhnikov@spbu.ru](mailto:a.nizhnikov@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

**Ирина Сергеевна Бузовкина**, кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра генетики и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, [i.buzovkina@spbu.ru](mailto:i.buzovkina@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5219-2102>

---

**Елена Константиновна Хлесткина**, доктор биологических наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; вице-президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС), 630090 Россия, Новосибирск, [director@vir.nw.ru](mailto:director@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Алексей Владимирович Кочетов**, доктор биологических наук, академик РАН, директор, Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН, 630090 Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 10; президент, Вавиловское общество генетиков и селекционеров (ВОГиС), 630090 Россия, Новосибирск, [ak@bionet.nsc.ru](mailto:ak@bionet.nsc.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

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

**Anton A. Nizhnikov**, Dr. Sci. (Biology), Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Head, Department of Genetics and Biotechnology, St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034 Russia; Vice-President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk, 630090 Russia; Head, Laboratory of Proteomics of Supraorganismal Systems, All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology (VNIISKhM), 3, Podbelskogo Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608 Russia, [a.nizhnikov@spbu.ru](mailto:a.nizhnikov@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8338-3494>

**Irina S. Buzovkina**, Cand. Sci. (Biology), Senior Lecturer, Department of Genetics and Biotechnology, St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Embankment, St. Petersburg, 199034 Russia, [i.buzovkina@spbu.ru](mailto:i.buzovkina@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5219-2102>

**Elena K. Khlestkina**, Dr. Sci. (Biology), Professor, Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 42, 44, Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg, 190000 Russia; Vice President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk, 630090 Russia, [director@vir.nw.ru](mailto:director@vir.nw.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8470-8254>

**Alexey V. Kochetov**, Dr. Sci. (Biology), Academician, Russian Academy of Sciences, Director, Institute of Cytology and Genetics SB RAS, 10, Academician Lavrentyev Avenue, Novosibirsk, 630090 Russia; President, Vavilov Society of Geneticists and Breeders (VOGiS), Novosibirsk, 630090 Russia, [ak@bionet.nsc.ru](mailto:ak@bionet.nsc.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3151-5181>

**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 18.10.2025; одобрена после рецензирования 28.10.2025; принята к публикации 12.11.2025.

The article was submitted on 18.10.2025; approved after reviewing on 28.10.2025; accepted for publication on 12.11.2025.

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

Языки: русский, английский / Languages: Russian, English

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), Scopus, 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, Scopus, DOAJ, AGRIS, included in the list of publications recognized by the Russian Higher Attestation Commission (VAK RF) when candidate and doctoral dissertations are defended.

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

<https://biosel.elpub.ru>

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

[https://www.elibrary.ru/title\\_about\\_new.asp?id=69575](https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=69575)

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

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

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

Переводчик: *С.В. Шувалов*

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](mailto:pbi@vir.nw.ru); [i.kotielkina@vir.nw.ru](mailto:i.kotielkina@vir.nw.ru)

**Почтовый адрес редакции**

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

Подписано в печать 26.12.2025.

Дата выхода в свет 30.12.2025.

Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>8</sub>

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 19,5. Тираж 30 экз. Заказ № 388/1. 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: ИП «Юшкевич Галина Викторовна»  
Адрес: 192286, г. Санкт-Петербург, Альпийский пер., д. 45



БИОТЕХНОЛОГИЯ  
И СЕЛЕКЦИЯ  
РАСТЕНИЙ

8(4), 2025